

550, 737

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004 年 10 月 7 日 (07.10.2004)

PCT

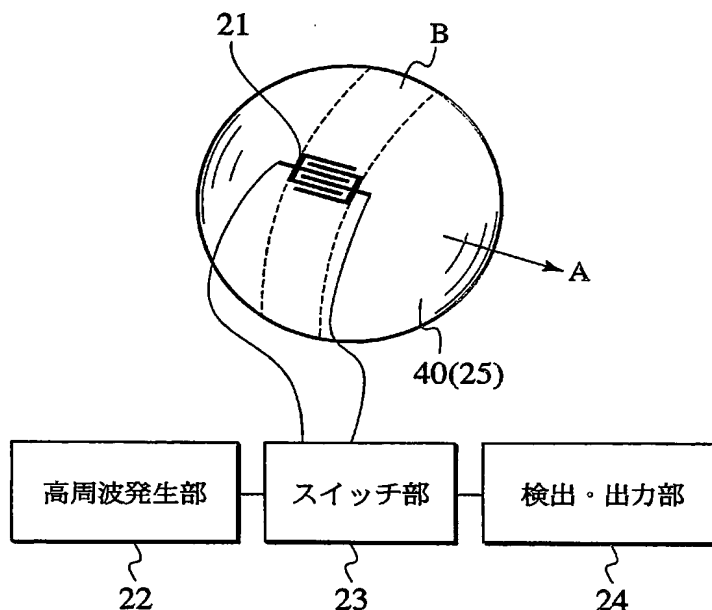
(10) 国際公開番号  
WO 2004/086028 A1

- |               |                              |   |
|---------------|------------------------------|---|
| (51) 国際特許分類:  | G01N 29/18                   | (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 凸版印刷株式会社 (TOPPAN PRINTING CO.,LTD) [JP/JP].                   |
| (21) 国際出願番号:  | PCT/JP2004/004315            | ボールセミコンダクター株式会社 (BALL SEMICONDUCTOR LTD.) [JP/JP].  |
| (22) 国際出願日:   | 2004 年 3 月 26 日 (26.03.2004) | (71) 出願人 および  |
| (25) 国際出願の言語: | 日本語                          | (72) 発明者: 山中 一司 (YAMANAKA, Kazushi) [JP/JP]; 〒9813134 宮城県仙台市泉区桂 2 丁目 6 番 3 号 Miyagi (JP). |
| (26) 国際公開の言語: | 日本語                          | (72) 発明者; および   |
| (30) 優先権データ:  |                              | (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 中曾 教尊 (NAKASO, Noritaka) [JP/JP]. 竹田 宜生 (TAKEDA, Nobuo) [JP/JP]. |
| 特願2003-086468 | 2003 年 3 月 26 日 (26.03.2003) | JP  |

[続葉有]

(54) Title: SENSOR HEAD, GAS SENSOR AND SENSOR UNIT

(54) 発明の名称: センサヘッド、ガスセンサ及びセンサユニット



(57) Abstract: A sensor head comprising a three-dimensional basic body (40) having a curved surface capable of defining an annular circulation band (B), an electroacoustic conversion element (21) located on the circulation band B of the three-dimensional basic body (40) and exciting a surface acoustic wave to perform multiple circulations along the circulation band (B), and a sensitive film (25) existing at at least a part of the circulation band B of the three-dimensional basic body (40) and reacting with specific gas molecules. After performing multiple circulations along the circulation band (B), a high frequency electric signal converted at an interdigital electrode (21) again into a high frequency electric signal is then fed through a switch section (23) to a detecting/outputting section (24) and detected thereat (24)

22... HIGH FREQUENCY GENERATING SECTION  
23... SWITCH SECTION  
24... DETECTING/OUTPUTTING SECTION

(B) の少なくとも一部に存在し、特定のガス分子と反応する感応膜 (25) とを備える。周回帯 (B) を多重周回して、すだれ

[続葉有]

WO 2004/086028 A1



(74) 代理人: 三好 秀和 (MIYOSHI, Hidekazu); 〒1050001  
東京都港区虎ノ門1丁目2番3号虎ノ門第一ビル  
9階 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が  
可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR,  
BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,  
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,  
ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,  
LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA,  
NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,  
SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が  
可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL,  
SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG,  
KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY,  
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC,  
NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG,  
CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

## 明 細 書

## センサヘッド、ガスセンサ及びセンサユニット

## 技術分野

本発明はセンサヘッドに係り、特に弾性表面波デバイスを用いたセンサヘッド及びこれを用いたガスセンサ、更にはセンサヘッドを実装したセンサユニットに関する。

## 背景技術

接触燃焼式、半導体式、弾性表面波センサ等、様々なガスセンサが用いられている。この中の弾性表面波センサは、図1に示すような平面型の弾性表面波素子を用いている。図1に示すように、平行平板型の圧電基板10の上に、弾性表面波を励起するための送信側すだれ状電極11、弾性表面波を圧電変換で再び高周波電気信号に変換し、検出・出力部14で検出するための受信側すだれ状電極13、送信側すだれ状電極11から受信側すだれ状電極13に向かって弾性表面波を伝搬する伝搬路となり、且つ特定のガス分子を吸着或いは吸蔵する感応膜15が設けられている。

圧電基板10は、例えば、水晶、ニオブ酸リチウム（ $\text{LiNbO}_3$ ）、タンタル酸リチウム（ $\text{LiTaO}_3$ ）等の圧電結晶、或いは、表面に酸化膜を形成したシリコン基板やガラス基板上に、酸化亜鉛（ $\text{ZnO}$ ）や窒化アルミ

ニウム（AlN）などの圧電性薄膜等を形成した多層構造が用いられている。送信側すだれ状電極 11 には、高周波発生部 12 からの高周波電気信号が供給され、この高周波電気信号が送信側すだれ状電極 11 で圧電変換され、弾性表面波が励起される。受信側すだれ状電極 13 は、弾性表面波を圧電変換で再び高周波電気信号に変換し、検出・出力部 14 に供給し、検出・出力部 14 が高周波電気信号を検出する。送信側すだれ状電極 11 及び受信側すだれ状電極 13 は、例えばアルミニウム（Al）、金（Au）等の金属よりなる。

図 1 に示す平面型ガスセンサでは、弾性表面波の伝搬路上に、特定のガス分子を吸着或いは吸蔵する感応膜 15 が設けられているため、この感応膜 15 が、特定のガス分子を吸着或いは吸蔵することによって、例えば、弾性表面波の伝搬速度、減衰係数、分散等が変化する。或いは、このような直接的な伝搬特性の変化の他、膜自身の発熱などを介して、間接的に伝搬特性に変化が与えられる。したがって、送信側すだれ状電極 11 から受信側すだれ状電極 13 への弾性表面波の伝搬特性を計測することによって、特定のガス分子の吸着或いは吸蔵状態、ひいては特定のガス分子の有無や濃度を計測することができる。

一方、本発明者の一人である山中を含む研究グループは、電子情報通信学会技術研究報告（Technical Report of Institute of Electronics, Information and Comm

unication Engineers) , U S 2 0 0 0 卷 1 4 号 ( 2 0 0 0 年 ) の p 4 9 において、球上の弾性表面波の無回折伝搬による多重周回を報告している。

## 発明の開示

図 1 に示したような従来の平面弾性表面は素子においては、弾性表面波の伝搬における回折効果と圧電基板 10 の大きさによって、その伝搬距離が 1 m m から 1 0 m m 程度と短い距離に限定される。このため、センサとして十分な感度を得るためには、例えば 1 0 0 n m 以上等のある程度の感応膜 15 の膜厚が必要だった。したがって、特に感応膜 15 を特定ガスの吸蔵薄膜にした場合は、反応速度が遅いという欠点を有していた。又、比較的厚い感応膜 15 は、特定のガス分子の吸着或いは吸蔵によって生じる薄膜の反応による相転移、温度変化による体積の膨張・収縮等の物理的変化及びその繰り返しの衝撃に対し弱いという欠点を有していた。

なお、高感度にするために、図 1 に示す構造を発展させ、平面上に弾性表面波の導波路による周回リングを構成して、伝搬距離を増加することを提案することは、可能である。しかし、平面上の弾性表面波では分散の影響を完全に回避することは困難であり、波形がひずむ。更に平面上に形成した導波路の曲率の大きい部分では導波路からの漏れの抑制も困難であり、波が減衰する。

上記問題点を鑑み、本発明は、高感度、高速応答で、

なおかつ機械的に丈夫なセンサヘッド及びこれを用いたガスセンサ、更にはセンサヘッドを実装したセンサユニットを提供することを目的とする。

上記目的を達成するために、本発明の第1の特徴は (a) 円環状に周回帯を定義可能な曲面を有する3次元基体； (b) 3次元基体の周回帯上に位置し、周回帯に沿って多重周回するように弾性表面波を励起する電気音響変換素子； (c) 少なくとも一部が3次元基体の周回帯の少なくとも一部に存在し、特定のガス分子と反応する感応膜とを備えるセンサヘッドであることを要旨とする。ここで、「周回帯」の幅は完全に平行である必要はなく、円環上で、幅が広くなったり狭くなったりするような、多少の幅の変化が許容される。「3次元基体」は、周回帯の中心線に沿った第1の主方向に第1の曲率を有し、且つこの第1の主方向に直交する第2の主方向に第2の曲率を有することが好ましい。但し、第1の曲率と第2の曲率とは、必ずしも等しい必要はない。第1の主方向に定義される第1の曲率は必ずしも、一定の曲率半径である必要はないが、少なくとも伝搬経路上のあらゆる点でいずれも方向にも曲率は同じ符号である必要がある。第2の主方向に定義される第2の曲率も必ずしも、一定の曲率半径である必要はなく、第2の主方向にそった断面図で見た場合、周回帯の中心線近傍でマイクロには平坦な外径面を形成するようなトポロジーも許容で

きる。即ち、周回帯の中心線近傍では曲率半径無限大であるが、第2の主方向に沿って周回帯の中心線から離れるに従い曲率半径が、連続的若しくは、階段状に小さくなるようなトポロジーでも良い。丁度、算盤玉の円周の端部を円柱面状にしたようなトポロジーや、二つの円錐を互いに底面で接続し、その接続部分の最大径となる円周の端部を円柱面状にしたようなトポロジーでも良い。

簡単な場合として、「3次元基体」として真球を考えれば、周回帯の幅は球の半径と弾性表面波の波長で決まる。球（真球）の周長と弾性表面波の波長との比（又は弾性表面波の波数と球の半径との積）で定義される波数パラメータと、周回帯の幅と球の半径との比で定義されるコリメート角の間には近似的に次の関係がある（電子情報通信学会技術研究報告US2000巻, p49参照。）。

(表1)

波数パラメータ	コリメート角(°)
150	15
300	9
450	8
600	7
750	6

表 1 によると、例えば、直径 10 mm の水晶球で、周波数が 45 MHz だと、波数パラメータは 438 であり、コリメート角はおよそ  $8^{\circ}$  で、周回帯の幅は、直径の約  $7/100$  くらいになる。但し、上述したように、「周回帯」の幅は完全に平行である必要はないので、コリメート角も厳密に常に一定である必要はなく、結晶の異方性に従い、広くなったり、狭くなったりするような、多少の変動が許容される。

「周回帯に沿って多重周回するように弾性表面波を励起する電気音響変換素子」としては、オルターニット・フェーズアレイのすだれ状電極を用いれば良い。このすだれ状電極のフィンガーの長手方向は、周回帯の方向に直交するが、周回帯は、すだれ状電極の長手方向をすべて含んでいることが望ましい。この様なトポロジーであれば、3次元基体はビヤ樽形状等でも良く、蘭型やラクビーボール型でも良い。

以上説明したように、一定の条件下では、真球以外の閉じた曲面上を周回する弾性表面波素子も構成することができる。真球以外の曲面でも、1点で発生してリング状に広がる弾性表面波は1周回った後に同一点に戻ることができるが、その戻る時刻が曲面上の伝搬経路により異なり波形が時間軸上で広がってしまうため、伝搬時間や周回共振周波数の変化を計測するセンサとしての精度が低下してしまう。このため、本発明の第1の特徴に係

る「３次元基体」のトポロジーとしては、真球が最も好ましい。

いずれにせよ、「３次元基体」は、中身の詰まった塊状である必要はなく、空洞部分（中空部部分）を有する３次元形状や、ある肉厚の殻により外面を形成した３次元形状でも良い。したがって、周回帯は、３次元基体の外周側表面に円環状に定義される場合と、３次元基体の空洞部分の内壁側表面に円環状に定義される場合がある。

本発明の第１の特徴に係る３次元基体の周回帯を伝搬する弾性表面波は、無回折で多重周回する。例えば、直径１０ｍｍの水晶球を用いた計測結果によればその多重周回は３００周から５００周に及ぶ。これは、より小型の直径１ｍｍの球を用いたとしても、３００周回で実効長９００ｍｍに等価な伝搬距離を持っていることを示している。したがって、従来の平面型（２次元構造）の弾性表面波素子に比べれば、２桁程度伝搬距離が長い。このことは、伝搬遅延時間計測においては、従来よりも２桁程度の時間分解能の改善、ひいては感度の改善になるということである。

本発明の第１の特徴に係る感応膜は、特定のガス分子と反応する、即ち、特定のガス分子の吸着、吸蔵、化学反応若しくは触媒化学反応を生じ、それによりその弾性表面波伝搬特性に変化が生じる。例えば、特定のガス分子が感応膜に吸着すれば、そのガス分子の質量効果により、弾性表面波の伝搬速度は遅くなるし、振動振幅の減

衰率も大きくなる。或いは特定のガス分子が感応膜と反応し、別の化合物に変化する場合も弾性特性が変化し、弾性表面波の伝搬特性に差が生じる。特定のガス分子と感応膜の反応による温度変化、又は感応膜を触媒とした化学反応によっても、弾性表面波の伝搬特性が変化する。したがって、弾性表面波の多重周回の遅延時間や周波数変化、或いは振幅、出力波形を検出することにより、特定のガス分子の有無や濃度等を計測できる。

本発明の第1の特徴に係る感応膜の厚さは、100nm以下が好ましい。感応膜上を弾性表面波が多重周回すれば良いので、感応膜の必要量は非常に少なく済み、感応膜の厚さを薄くすることにより、コストを大幅に削減できる。特に吸蔵型感応膜の場合には、特定のガス分子の感応膜中への拡散が応答時間を律速しているため、感応膜を薄くすることにより応答時間が早くなり、より実用的なセンサを供給できるからである。勿論同じ厚さならば飛躍的に高感度化ができ、従来検知できなかったような感度が得られる。この場合の下限は1分子層になるが、通常は、3分子層程度以上が好ましい。更に、感応膜を100nm以下が薄くすることにより、外部温度変化や膜自身の反応熱の温度変化による膜の伸縮や、化学反応や原子吸蔵による物理的な結晶構造変化の繰り返しの強い構造が実現できる。この場合の下限は1分子層になるが、通常は、3分子層程度以上が好ましい。

又、感応膜の厚さが、弾性表面波の波長の1/500

以下であることが好ましい。より好ましくは、感応膜の厚さが、弾性表面波の波長の  $1/1000$  以下とすべきである。

更に、感応膜がパラジウム (Pd) を含む膜である場合に、本発明の第 1 の特徴に係るセンサヘッドは好適である。「Pd を含む膜」とは、単体の Pd 膜の他、チタン・パラジウム (Ti-Pd)、ニッケル・パラジウム (Ni-Pd)、金・パラジウム (Au-Pd)、銀・パラジウム (Ag-Pd)、若しくは金・銀・パラジウム (Au-Ag-Pd) 等のパラジウム合金膜等が含まれる意である。この様な、Pd を含む感応膜は、特に水素ガス ( $H_2$ ) を検出するのに有効である。

Pd を含む感応膜のように、材料として高価な材料の場合があるが、例えば、球表面の一部に感応膜を形成すれば安価にできる。

本発明の第 2 の特徴は、(a) 円環状に周回帯を定義可能な曲面を有する 3 次元基体；(b) 3 次元基体の周回帯上に位置し、周回帯に沿って多重周回するように弾性表面波を励起し、且つ多重周回した弾性表面波から高周波信号を生成する電気音響変換素子；(c) 少なくとも一部が 3 次元基体の周回帯の少なくとも一部に存在し、特定のガス分子と反応する感応膜；(d) 電気音響変換素子に高周波電気信号を供給する高周波発生部；(e) 電気音響変換素子から弾性表面波の伝搬特性に関する高

周波信号を計測する検出・出力部とを備えたガスセンサであることを要旨とする。

本発明の第2の特徴は、第1の特徴において述べたセンサヘッドの電気音響変換素子を構成しているすだれ状電極に高周波信号を与える高周波発生部と、電気音響変換素子から弾性表面波の伝搬特性に関する高周波信号を計測する検出・出力部を備えたものである。検出・出力部は、電気音響変換素子から受信した高周波信号を検出し、遅延時間、周波数、或いは振幅等の弾性表面波の伝搬特性を測定する検出部と、伝搬特性の変化を特定のガス分子の有無や、濃度を換算して表示する出力部とを有する。この様な構成の、本発明の第2の特徴に係るガスセンサでは、特定のガス分子が感応膜に吸着すれば、そのガス分子の質量効果により、弾性表面波の伝搬速度は遅くなるし、振動振幅の減衰率も大きくなる。或いは特定のガス分子が感応膜と反応し、別の化合物に変化する場合も弾性特性が変化し、弾性表面波の伝搬特性に差が生じる。特定のガス分子と感応膜15の反応による温度変化、又は感応膜を触媒とした化学反応によっても、弾性表面波の伝搬特性が変化するので、弾性表面波の多重周回の遅延時間や周波数変化、或いは振幅、出力波形を検出することにより、特定のガス分子の有無や濃度等を計測できる。

本発明の第2の特徴に係るガスセンサによれば、弾性表面波の多重周回現象を用いることにより、従来の平面

型弾性表面波素子に比べて、1桁以上長い実効伝搬長を実現できる。そのため時間分解能を1桁以上あげることができるので、ガスセンサの感度を高くできる。又、第1の特徴において述べたように、特に吸蔵型感応膜の場合には、特定のガス分子の感応膜中への拡散が応答時間を律速しているため、感応膜を薄くすることにより応答時間が早くなり、より実用的なセンサを供給できる。更に、感応膜を薄くすることにより、外部温度変化や膜自身の反応熱の温度変化による膜の伸縮や、化学反応や原子吸蔵による物理的な結晶構造変化の繰り返しの強い構造にできる。

本発明の第2の特徴において、高周波発生部及び検出・出力部を3次元基体に集積化すれば、ガスセンサを小型化でき好ましい。

本発明の第3の特徴は、(a)円環状に周回帯を定義可能な曲面を有する3次元基体；(b)3次元基体の周回帯上に位置し、周回帯に沿って多重周回するように弾性表面波を励起し、且つ多重周回した弾性表面波から高周波信号を生成する電気音響変換素子；(c)少なくとも一部が3次元基体の周回帯の少なくとも一部に存在し、特定のガス分子と反応する感応膜；(d)3次元基体を搭載する実装基板；(e)実装基板上に配置され、電気音響変換素子に高周波電気信号を供給する高周波発生部；(f)実装基板上に配置され、電気音響変換素子から

弾性表面波の伝搬特性に関する高周波信号を計測する検出・出力部；（g）この実装基板の表面に配置され、高周波発生部と電氣的に接続された第1の実装配線；（h）この実装基板の表面に配置され、検出・出力部と電氣的に接続された第2の実装配線；（リ）第1及び第2の実装配線のそれぞれと電気音響変換素子とを電氣的に接続する導電性接続体とを備えたセンサユニットであることを要旨とする。「導電性接続体」としては金属バンプやボンディングワイヤ等の半導体の実装工程で用いられる種々の導電性部材が使用可能である。

既に、第1及び第2の特徴における説明から明らかであろうが、本発明の第3の特徴に係るセンサユニットによれば、従来の平面の弾性表面波素子に比べて、感度と応答性能を両立させて飛躍的に高性能なセンサユニットが提供できる。更に、感応膜が薄くできるため、外部温度変化や膜自身の反応熱の温度変化による膜の伸縮や、化学反応や原子吸蔵による物理的な結晶構造変化の繰り返しの強い構造のセンサユニットが提供できる。

本発明の第4の特徴は、（a）円環状に周回帯を定義可能な曲面を有する3次元基体；（b）3次元基体の周回帯上に位置し、周回帯に沿って多重周回するように弾性表面波を励起し、且つ多重周回した弾性表面波から高周波信号を生成する電気音響変換素子；（c）少なくとも一部が3次元基体の周回帯の少なくとも一部に存在し、

特定のガス分子と反応する感応膜；（d）３次元基体上に集積化され、電気音響変換素子に高周波電気信号を供給する高周波発生部；（e）３次元基体上に集積化され、電気音響変換素子から弾性表面波の伝搬特性に関する高周波信号を計測する検出・出力部；（f）３次元基体を搭載する実装基板；（g）この実装基板の表面に配置された実装配線；（h）第１の実装配線と検出・出力部とを電氣的に接続する導電性接続体とを備えたセンサユニットであることを要旨とする。第３の特徴で述べたように、「導電性接続体」としては金属バンプやボンディングワイヤ等の半導体の実装工程で用いられる種々の導電性部材が使用可能である。

第３の特徴に係るセンサユニットと同様に、本発明の第４の特徴に係るセンサユニットによれば、従来の平面の弾性表面波素子に比べて、感度と応答性能を両立させて飛躍的に高性能なセンサユニットが提供できる。更に、感応膜が薄くできるため、外部温度変化や膜自身の反応熱の温度変化による膜の伸縮や、化学反応や原子吸蔵による物理的な結晶構造変化の繰り返しに強い構造のセンサユニットが提供できる。特に、高周波発生部と検出・出力部とを３次元基体上に集積化しているので、軽量コンパクトなセンサユニットが提供できる。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、従来の平面型センサヘッドの構造を説明するための模式的な鳥瞰図である。

図 2 A は、本発明の第 1 の実施例に係るセンサヘッドの構造を説明するための模式的な鳥瞰図で、図 2 B は、図 2 A に示す構造の弾性表面波の周回帯の中心を切る面から見た赤道断面図である。

図 3 は、本発明の第 1 の実施例に係るセンサヘッドを用いたガスセンサの検出・出力部で測定される弾性表面波の多重周回に起因した信号波形の遅延を説明する図である。

図 4 A は、本発明の第 2 の実施例に係るセンサヘッドの構造を説明する赤道断面図で、図 4 B は、センサヘッドを用いたガスセンサの検出・出力部で測定される弾性表面波の多重周回に起因した信号波形を説明するグラフである。

図 5 は、本発明の第 2 の実施例に係るセンサヘッドの応答速度のガス流量依存性を説明するグラフである。

図 6 A は、本発明の第 3 の実施例に係るセンサヘッドの構造を説明するための模式的な鳥瞰図で、図 6 B は、図 6 A に示す構造の弾性表面波の周回帯の中心を切る面から見た赤道断面図である。

図 7 は、本発明の第 4 の実施例に係るセンサヘッドの構造を説明するための模式的な鳥瞰図である。

図 8 は、本発明の第 4 の実施例の変形例（第 1 変形例）に係るセンサヘッドの構造を説明するための模式的

な鳥瞰図である。

図 9 は、本発明の第 4 の実施例の他の変形例（第 2 変形例）に係るセンサヘッドの構造を説明するための模式的な鳥瞰図である。

図 10 は、本発明の第 5 の実施例に係るセンサヘッドの構造を説明するための模式的な鳥瞰図である。

図 11 は、本発明の第 6 の実施例に係るセンサヘッドの構造を説明するための模式的な鳥瞰図である。

図 12 A は、本発明の第 7 の実施例に係るセンサヘッドの構造を説明するための模式的な鳥瞰図である。

図 12 B は、本発明の第 7 の実施例に係るセンサヘッドの温度センサの構造を具体的に示す模式的な鳥瞰図である。

図 12 C は、本発明の第 7 の実施例に係るセンサヘッドの温度センサの他の構造を具体的に示す模式的な鳥瞰図である。

図 13 は、本発明の第 8 の実施例に係るセンサヘッドの構造を説明するための模式的な赤道断面図である。

図 14 は、本発明の第 9 の実施例に係るセンサユニットの構造を説明するための模式的な断面図である。

図 15 は、本発明の第 9 の実施例に係るセンサユニットの実装方法を用いて、複数のセンサヘッド（球状弾性表面波素子）をアレイ状に実装した場合の模式的な鳥瞰図である。

図 16 は、本発明の第 10 の実施例に係るセンサユニ

ットの構造を説明するための模式的な断面図である。

図 1 7 は、本発明の第 1 0 の実施例に係るセンサユニットの実装方法を用いて、複数のセンサヘッド（球状弾性表面波素子）をアレイ状に実装した場合の模式的な鳥瞰図である。

図 1 8 は、本発明の第 1 1 の実施例に係るセンサヘッドの構造を説明するための模式的な赤道断面図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

次に、図面を参照して、本発明の第 1 ～第 1 1 の実施例を説明する。以下の図面の項記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。但し、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なることに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。又、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることは勿論である。又、以下に示す第 1 ～第 1 1 の実施例は、この発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、この発明の技術的思想は、構成部品の材質、形状、構造、配置等を下記のものに特定するものでない。この発明の技術的思想は、特許請求の範囲において、種々の変更を加えること

ができる。

(第1の実施例)

本発明の第1の実施例に係るセンサヘッドは、図2A及び2Bに示すように、円環状に周回帯Bを定義可能な曲面を有する3次元基体40と、この3次元基体40の周回帯B上に位置し、周回帯Bに沿って多重周回するように弾性表面波を励起する電気音響変換素子21と、3次元基体40の周回帯Bのほぼ全領域に存在し、特定のガス分子と反応する感応膜25とを備える。

3次元基体40としては、圧電結晶からなる均質材料球40が用いられている。均質材料球40としては、例えば、水晶、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、圧電セラミック(PZT)、ビスマスゲルマニウムオキシサイド( $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ )等の単結晶球が採用可能である。この均質材料球40の表面のほぼ全面には、感応膜25が設けられている。更に、図2A及び2Bに示すように、均質材料球40の赤道上の一部には、均質材料球40の表面の一部を露出する感応膜25の開口部が存在し、この開口部の内部にすだれ状電極21が配置されている。ここで、「赤道」とは、図2Aに示す均質材料球40の中心を通り、且つ、矢印Aの方向と直交する平面が均質材料球40の表面と交わる線を意味する。

均質材料球40のような単結晶球の場合は、結晶材料の種類に応じて、弾性表面波が周回するルートが周回帯

Bに限定される。例えば、水晶の場合、三方晶系結晶軸の一つである $z$ 軸を図2Aに示す矢印Aの方向とすれば、赤道を中心として、ある幅を持つベルト状の周回帯Bで、弾性表面波が周回する。周回帯Bの幅は、結晶の異方性に従い、広くなったり狭くなったりしても良い。弾性表面波の伝搬特性からは、均質材料球40の $Z$ 軸を矢印Aの方向に取ることが望ましい。

すだれ状電極21は、所謂オルターニット・フェーズアレイであり、高周波発生部22からスイッチ部23を介して供給された高周波電気信号を圧電変換して弾性表面波を励起する。更に、すだれ状電極21は、赤道上のベルト状の周回帯Bを周回してきた弾性表面波を圧電変換して、再び高周波電気信号に変換する機能をも兼ねている。すだれ状電極21で再び高周波電気信号に変換された高周波電気信号は、スイッチ部23を介して検出・出力部24に供給され、検出・出力部24で検出される。スイッチ部23は高周波発生部22と検出・出力部24を切り換える。高周波発生部22からの高周波電気信号をすだれ状電極21に供給して、すだれ状電極21が弾性表面波を送出後、所定の周回回数（第 $n$ 周回： $n \geq 1$ ）目の弾性表面波が戻ってくる前に、すだれ状電極21からの信号経路を検出・出力部24に切り換える。勿論、高周波発生部22からすだれ状電極21の方向、及びすだれ状電極21から検出・出力部24の方向への、方向性結合回路等でも構わない。

オルターニット・フェーズアレイを構成しているすだれ状電極 21 としては、例えばアルミニウム (A l)、金 (A u) 等の金属膜を採用可能である。赤道上の周回帯 B における多重周回の周回数を多く取るためには、弾性表面波に対する質量効果が少ない軽い金属がすだれ状電極 21 の材料として望ましく、又、金属膜の膜厚も薄い方が望ましい。送信側と受信側と別々のすだれ状電極があっても構わないが、均質材料球 40 の赤道上を弾性表面波が周回する素子では、弾性表面波が戻ってくるので、一つのすだれ状電極 21 を時分割で共用するのが有効である。

弾性表面波を励起し、又、受信するのに用いるすだれ状電極 21 は、図 2 A に示すように、均質材料球 40 の表面上で、その長手方向を赤道方向と垂直に取れば良い。すだれ状電極 21 の長さは、弾性表面波の速度、均質材料球 40 の半径等によって決定され、最適な値に設計することにより、一定幅の弾性表面波を多重周回させることができる。

すだれ状電極 21 の長さが最適値より短い場合は、角度で  $90^{\circ}$  周回すると弾性表面波の幅が最大になり、次の  $90^{\circ}$  の周回で元の幅に戻り、以下それを繰り返す。一方、すだれ状電極 21 の長さが最適値より長い場合は、角度で  $90^{\circ}$  周回すると弾性表面波の幅が最小になり、次の  $90^{\circ}$  の周回で元の幅に戻り、以下それを繰り返す。したがって、所望の伝搬経路により、すだれ状電極 21

の長さを設計しても良い。オルターニット・フェーズアレイを構成しているすだれ状電極 21 の繰り返し周期は、弾性表面波の速度や均質材料球 40 の半径より、所望の周波数特性が得られるように設計する。繰り返し周期が短いほど弾性表面波に対する共振周波数が高くなり、表面との相互作用の効率が上がるために高感度になる。繰り返しの数が多いほど共振の幅が狭くなり、Q 値が上昇する。

センサヘッドとしての感度は、均質材料球 40 の表面に形成された感応膜 25 の材料と構造に依存する。この感応膜 25 は、特定のガスと接触することにより、弾性表面伝搬特性に変化を及ぼすものであることが必要である。例えば、気体を表面に吸着させ、その質量効果により弾性表面波の伝搬速度を遅くなっても良いし、質量効果により伝搬強度が減衰しても良い。或いは、気体を感応膜 25 内に吸蔵し、その薄膜の機械的堅さが変化し、弾性表面波の伝搬速度や減衰に変化を及ぼすものでも良い。更には、気体と反応することにより吸熱或いは発熱反応を起こし、弾性表面波の伝搬速度や減衰に影響を及ぼすものであっても良い。この感応膜 25 は、特定の気体とのみ選択的に反応を起こし、なおかつ、可逆反応を起こす材料であることが望ましい。

例えば、この様な感応膜 25 として、水素 ( $H_2$ ) を吸蔵し、水素化物を形成して機械的性質が変化するパラジウム (Pd)、アンモニア ( $NH_3$ ) に対する吸着性が

高いプラチナ（Pt）、水素化物を吸着する酸化タングステン（ $WO_3$ ）、一酸化炭素（CO）、二酸化炭素（ $CO_2$ ）、二酸化硫黄（ $SO_2$ ）、二酸化窒素（ $NO_2$ ）等を選択的に吸着するフタロシアニン（Phthalocyanine）等が知られている。

第1の実施例に係るセンサヘッドでは、すだれ状電極21より弾性表面波を送出した後、特定の回数を多重周回した後の弾性表面波の遅延時間や振幅等の伝搬特性を計測することによって、特定のガス分子の吸着或いは吸蔵状態、更には特定のガス分子の有無や濃度を計測することができる。

第1の実施例に係るセンサヘッドを用いたガスセンサの動作例が図3である。横軸には時間、縦軸には高周波電圧（振幅）が示してある。第1の実施例に係るセンサヘッドの表面に、特定のガス分子が吸着していないときにおいて、弾性表面波を送出後一定時間が経過し、特定の回数を多重周回を重ねた後の動作波形が図3の波形6である。但し、高周波電気信号で弾性表面波を励起した時間をゼロとし、特定の回数を多重周回後の波形近傍の時間軸を拡大して示してある。例えば、均質材料球40が直径1mmの水晶均質材料球40の場合においては、弾性表面波の1周回は約 $1\mu s$ であり、高周波電気信号で弾性表面波を励起した時間をゼロとすると100回目の周回であれば、励起後約 $100\mu s$ 経過した後の現象とすることになる。

表面に特定のガス分子が吸着したときには、表面に吸着した物質の質量効果により、弾性表面波の伝搬速度が遅くなる。このため、波形 7 に示すように弾性表面波には、矢印 C に示すような、更なる遅延が生じる。この波形 7 の遅延の有無や、大きさで特定のガス分子の有無や濃度を測定することができる。例えば、伝搬長約 3 mm、1  $\mu$  s のときに 1 ns (0.1%) の分解能を持つ検出・出力部 24 を有している場合において、第 1 の実施例に係るセンサヘッドを用い、100  $\mu$  s 後に 1 ns 分解能で測定を行えば、従来の 1 / 100 の 10 ppm の分解能まで測定できることになる。

#### (第 2 の実施例)

本発明の第 2 の実施例に係るセンサヘッドは、図 4 A に示すように、円環状に周回帯 B を定義可能な曲面を有する 3 次元基体 40 と、この 3 次元基体 40 の周回帯 B 上に位置し、周回帯 B に沿って多重周回するように弾性表面波を励起する電気音響変換素子 21 と、3 次元基体 40 の周回帯 B の一部に存在する特定のガス分子と反応する感応膜 25 とを備える。3 次元基体 40 は、第 1 の実施例と同様な均質材料球 40 であるが、均質材料球 40 の一部のみに感応膜 26 が設けられている点が、第 1 の実施例とは異なる。そして、感応膜 26 が存在しない均質材料球 40 の赤道上の一部に、電気音響変換素子 21 としてのすだれ状電極 21 が配置されている。

即ち、第 2 の実施例に係るセンサヘッドでは、均質材料球 40 の表面の、すだれ状電極 21 の反対側に位置にあたる一部分にのみ感応膜 26 が設けられている。均質材料球 40 としては、第 1 の実施例に係るセンサヘッドと同様な水晶、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 等の単結晶球が採用可能であるが、第 2 の実施例に係るセンサヘッドにおいては、直径 10 mm の水晶球の場合を説明する。感応膜 26 は Pd 膜で、弾性表面波の周回帯上に直径約 6 mm の円状領域として、真空蒸着法により 20 nm 製膜した。Pd は選択的に水素のみを吸収し、水素合金を形成するので、非常に選択性の良い水素ガスセンサとなる。又、Pd は、すだれ状電極 21 の形成及びアッセンブリ後に、球状弾性表面波素子の上面にのみ真空蒸着法によって形成できるので、製作が容易である。

Pd のように感応膜 26 が材料として高価な場合は、図 4 A 及び 4 B に示すように、球表面の一部に感応膜 26 を形成すれば、感応膜 26 の必要量が非常に少なく済み、コストを大幅に削減できる。したがって、第 2 の実施例に係るセンサヘッドの工業的価値は非常に高い。

図 4 B が、第 2 の実施例に係るセンサヘッドの検出・出力部 24 で測定される信号波形である。縦軸には高周波の検出振幅を、横軸には時間経過を示す。弾性表面波の励振周波数は約 45 MHz で、直径 10 mm の水晶均質材料球 40 における弾性表面波の周回時間は約 10  $\mu$ s であり、41 周回目（400  $\mu$ s 前後）の信号を測定

した。図 4 B には、水素導入前のアルゴンガス 100 % の場合と、水素を 3 % 導入した後の波形を示す。Pd は水素を吸収して、水素化物を形成を形成し、機械的に堅くなるので、弾性表面波の速度は速くなり、遅延時間が減少する。水素 3 % を導入した場合の遅延時間の減少は約 3 ns (約 7 ppm) であった。

水素ガスセンサとして、その特性をアクリル製円筒のフローセルにより評価したのが図 5 である。図 5 の縦軸が弾性表面波の遅延時間が、横軸に時間経過である。まず純 Ar ガスを流し、時刻 3.0 分に 3.0 vol % 水素を含む Ar ガスに切り換え、時刻 8.0 分に純 Ar ガスに切り換えた。ガス流量は、0.2 L / 分、1.0 L / 分、5.0 L / 分と変化させた。ガス流量を増加させると、フローセル内のガスの置換が早くなるので応答時間は 60 秒ほどで飽和している。これは、水素が Pd 内を拡散するのに要する時間と考えられ、従来の平面型弾性表面波素子を用いた水素ガスセンサ (Pd 膜厚 190 nm) の 1 / 4 以下の応答速度になっている。これは、主として感応膜 26 としての Pd の膜厚が従来の約 1 / 10 になっていることに起因する。

ここで、第 2 の実施例に係るセンサヘッドの水素に対する限界感度について言及する。水素への応答時間を評価するため、41 周回目の波形に、時間・周波数分解能の優れたガボール (Gabor) 関数をマザー・ウェーブレットとして用いるウェーブレット変換を適用し、時刻 4

0 3 . 0 4 0 s ~ 4 0 3 . 0 6 0 s の間においてウェーブレット変換の実部を最大とする時刻を求め、これを遅延時間とした。計測のサンプリング時間は 0 . 5 n s だったが、ウェーブレット解析は 0 . 0 2 5 n s の時間間隔で補間したところ、0 . 0 2 5 n s の分解能で有意な変化が見られた。一方、全遅延時間は 4 0 3  $\mu$  s なので、相対時間精度は  $0 . 0 2 5 / 4 0 3 0 0 0 = 6 0$  p p b である。これは水素ガス濃度に換算すれば、3 0 p p m に相当する。これは周回数を 3 0 0 周にすれば、p p m 台の水素濃度精度も達成できることを意味している。逆に同一感度を保って、P d 膜を薄膜化すれば、応答時間を更に早めることができる。この様な極限的な計測精度を可能としたのは、均質材料球 4 0 の弾性表面波に固有の特性である無回折伝搬による超多重周回である。

現在市販されている水素ガスセンサは接触燃焼方式及び半導体方式である。接触燃焼方式は水素以外の燃焼性ガスにも応答してしまい、選択性に問題がある。又、接触燃焼方式は高濃度、半導体方式は低濃度のみで使用でき、広い濃度範囲にわたって使用できない。前述したように、平面型の弾性表面波素子を用いた水素ガスセンサにおいては、応答時間が問題となっている。したがって、従来は選択性、感度とそのダイナミックレンジ、応答時間等のすべてを満足する水素ガスセンサは存在しなかったが、第 2 の実施例に係るセンサヘッドは、非常に選択性に優れ、p p m の感度と、数 % までのダイナミックレ

ンジと、60秒以内の応答時間を有する、すべての点に優れた水素ガスセンサである。

### (第3の実施例)

本発明の第3の実施例に係るセンサヘッドは、図6A及び6Bに示すように、弾性特性の均質な材料よりなる均質材料球40の少なくとも一部に圧電性薄膜41が形成されている。圧電性薄膜41が表面に形成されているので、第1及び第2の実施例とは異なり、均質材料球40は、圧電性を持たない物質（非圧電物質）でも構わない。このため、均質材料球40の材料としては、アモルファス材料である硼珪酸ガラス、石英ガラスなどのガラス材料が採用可能である。圧電性薄膜41としては、硫化カドミウム（CdS）、酸化亜鉛（ZnO）、硫化亜鉛（ZnS）、窒化アルミニウム（AlN）等が採用可能で、これらの薄膜は、公知のスputタリング法、真空蒸着法等で均質材料球40の表面に堆積すれば良い。

均質材料球40と圧電性薄膜41の表面には、感応膜25が設けられている。圧電性薄膜41は弾性表面波を励起し、又、受信するのに用いるすだれ状電極21の近傍にのみあれば良い。非圧電物質の表面に直接、すだれ状電極21を形成するだけでは弾性表面波を励起することはできない。電界が加わっても、均質材料球40が歪まないからである。したがって、すだれ状電極21の直下や直上等、すだれ状電極21の近傍にのみ少なくとも、

圧電性薄膜 4 1 があれば、弾性表面波を励起し、又、受信することができる。高周波発生部 2 2、スイッチ部 2 3、検出・出力部 2 4 に関しては、第 1 の実施例に係るセンサヘッドと同様であり、重複した説明を省略する。

図 6 B には、図 6 A に示した第 3 の実施例に係るセンサヘッドの断面構造を示した。すだれ状電極 2 1 の設計については第 1 の実施例に係るセンサヘッドと何ら変わるところはない。図 6 B に示す断面図においては、すだれ状電極 2 1 が圧電性薄膜 4 1 の上に形成されているが、すだれ状電極 2 1 の位置はこれに限ることはなく、例えば均質材料球 4 0 と圧電性薄膜 4 1 の間にあっても構わないし、圧電性薄膜 4 1 の上下を 1 対のすだれ状電極 2 1 で挟み込むような構造にしても良い。いずれの場合においても、弾性表面波の周回帯 B は、すだれ状電極 2 1 の長手方向に対して直角な方向となり、任意の方向を選択できる。

センサヘッドとしての感度は、均質材料球 4 0 の表面に形成された感応膜 2 5 の材料と構造により決められる。この感応膜 2 5 は、特定のガスと接触することにより、弾性表面伝搬特性に変化を及ぼすものであることが必要である。例えば、気体を表面に吸着させ、その質量効果により弾性表面波の伝搬速度を遅くなっても良いし、質量効果により伝搬強度が減衰しても良い。或いは、気体を感応膜 2 5 内に吸蔵し、その薄膜の機械的堅さが変化し、弾性表面波の伝搬速度や減衰に変化を及ぼすもので

も良い。更には、気体と反応することにより吸熱或いは発熱反応を起こし、弾性表面波の伝搬速度や減衰に影響を及ぼすものであっても良い。この感応膜 25 は、特定の気体とのみ選択的に反応を起こし、なおかつ、可逆反応を起こす材料であることが望ましい。

#### (第 4 の実施例)

本発明の第 4 の実施例に係るセンサヘッドは、図 7 に示すように、弾性表面波の周回帯 B にのみ感応膜 25 を形成されていることが特徴である。弾性特性の均質な材料よりなる均質材料球 40 の少なくとも一部に圧電性薄膜 41 が形成されている。圧電性薄膜 41 は弾性表面波を励起し、又、受信するのに用いるすだれ状電極 21 の近傍にのみある。そして、すだれ状電極 21 の長手方向に直角に弾性表面波の周回帯 B がある。高周波発生部 22、スイッチ部 23、検出・出力部 24 に関しては、第 1 及び第 3 の実施例に係るセンサヘッドと同様であり、重複した説明を省略する。

第 4 の実施例に係るセンサヘッドでは感応膜 25 は、弾性表面波の周回帯 B の近傍にのみ形成されている。感応膜 25 をパターンニングする必要がある反面、感応膜 25 がない表面を、他の目的に使用できるという利点を有している。

P d のように感応膜 25 が材料として高価な場合は、図 7 に示すように、周回帯 B のみに感応膜 25 を形成す

れば、感応膜 25 の必要量が非常に少なくて済み、コストを大幅に削減できる。したがって、第 4 の実施例に係るセンサヘッドの工業的価値は非常に高い。

図 8 には、第 4 の実施例に係るセンサヘッドの変形例（第 1 変形例）として、高周波発生部 62、スイッチ部 63 や検知・出力部 64 を均質材料球 40 の表面上に集積化した模式的な構造例を示した。均質材料球 40 の少なくとも一部に圧電性薄膜 41 が形成され点は、図 7 と同様である。圧電性薄膜 41 は弾性表面波を励起し、又、受信するのに用いるすだれ状電極 21 の近傍にのみあり、すだれ状電極 21 の長手方向に直角に弾性表面波の周回帯 B がある。感応膜 25 は、弾性表面波の周回帯 B の近傍にのみ形成されているため、それ以外の領域に他の回路を形成できる。

図 8 に示す均質材料球 40 は、表面に酸化膜が形成されたシリコン球 40 が望ましい。弾性表面波の伝搬に対する均質性を酸化膜により近似的に確保した上で、感応膜 25 を形成する領域を除いて酸化膜を除去することで、弾性表面波の伝搬に寄与しない領域に球面半導体製造技術によって、高周波発生部 62、スイッチ部 63、検知・出力部 64 等の回路、更には、その他の高周波回路や集積回路を形成でき、ガスセンサを小型化できる。

勿論、均質材料球 40 として硼珪酸ガラスや石英ガラス等のガラス材料を用い、高周波回路や集積回路を形成する部分に、多結晶シリコン薄膜或いはアモルファスシ

リコン薄膜を堆積させ、その上に薄膜トランジスタを集積することもできる。多結晶シリコン薄膜やアモルファス薄膜は熱処理やレーザーアニールによって単結晶化してから用いても良い。新たに薄膜を形成する方式は、均質材料球 40 を用いたセンサヘッドにも応用できることは言うまでもない。

図 9 には、第 4 の実施例に係るセンサヘッドの他の変形例（第 2 変形例）として、複数の弾性表面波の周回帯 B-1 及び B-2 を有していて、それぞれの周回帯 B-1 及び B-2 に対して異なる感応膜 25 a 及び 25 b を形成し、複数のガス種の同時計測を行う場合の模式的な構造例を示した。均質材料球 40 の少なくとも一部に圧電性薄膜 41 a 及び 41 b が形成されている。圧電性薄膜 41 a 及び 41 b は弾性表面波を励起し、又、受信するのに用いるすだれ状電極 21 a 及び 21 b の近傍にのみあり、すだれ状電極 21 a 及び 21 b の長手方向に直角に弾性表面波の周回帯 B-1 及び B-2 がある。それぞれの周回帯 B-1 及び B-2 はできるだけ重複しないように、すだれ状電極 21 a 及び 21 b の配置が決められる。感応膜 25 a 及び 25 b は、弾性表面波の周回帯 B の近傍にのみ形成される。感応膜 25 a 及び 25 b の種類を変えることにより、異なる種類のガス種を計測することが可能になる。勿論同一の感応膜とし、それぞれの周回帯 B-1 及び B-2 からの検出結果を平均化することで精度の向上を測っても構わないし、測定感度に重

点をおいた比較的膜厚の厚い感応膜と、反応速度に重点をおいた比較的薄い感応膜を組み合わせて使用しても良い。

図 9 に示す構造の高周波発生部 2 2、スイッチ部 2 3、検出・出力部 2 4 は、第 1 及び第 3 の実施例に係るセンサヘッドとほぼ同様であるが、スイッチ部 2 3 が二つのすだれ状電極 2 1 a 及び 2 1 b に同時に接続されている点が異なる。感応膜 2 5 a 及び 2 5 b が異なれば、基準となる被測定ガスがない場合の弾性表面波の伝搬特性も異なるため、時分割での計測が可能である。

図 9 に示すように、複数の周回帯 B - 1 及び B - 2 を有する場合は、ここに記述される以外にも、一つのスイッチ部から、別々に二つのすだれ状電極に配線を行い、交互に時分割計測を行う方法によっても実施できる。

又、図 9 では、周回帯 B - 1 及び B - 2 が二つの場合について説明されているが、すだれ状電極 2 1 a 及び 2 1 b の長さを最適化すると、弾性表面波の周回帯 B - 1 及び B - 2 の幅は常に一定とすることができ、しかも高々均質材料球 4 0 の直径の約  $1/10$  程度にできるため、更に多くの周回帯 B - 1, B - 2, B - 3, ……を取ることが可能である。例えば、匂いのように、同時に多数のガス分子の存在やその濃度を測定する必要がある場合には、更に多くの周回帯 B - 1, B - 2, B - 3, ……を取る構造が、特に有効である。

### (第 5 の 実 施 例)

ところで、本発明のセンサヘッドは、弾性表面波の伝搬特性を利用しているために、周囲温度の影響を受ける。したがって、温度に対する補正をすることが望ましい。

図 10 には異なる二つの均質材料球 40 a 及び 40 b を用いて温度構成を行った模式的な構造例を示す。弾性特性の均質な材料よりなる二つの均質材料球 40 a 及び 40 b のそれぞれの少なくとも一部に圧電性薄膜 41 a 及び 41 b がおのおの形成されている。圧電性薄膜 41 a 及び 41 b は弾性表面波を励起し、又、受信するのに用いるそれぞれのすだれ状電極 21 a 及び 21 b の近傍にのみあり、すだれ状電極 21 a 及び 21 b の長手方向に直角に弾性表面波の周回帯 B-1 及び B-2 がある。感応膜 25 は、一方の均質材料球 40 a にのみ形成され、他方の均質材料球 40 b には形成されない。一方の弾性表面波素子は感応膜 25 の存在により、前述した第 1 の実施例に係るセンサヘッドと同様な動作をする。これに対して他方の弾性表面波素子は、感応膜 25 が存在しないために、その弾性表面波の伝搬特性は温度の影響のみを受ける。

図 10 に示す構造の高周波発生部 22 c、スイッチ部 23 a、23 b、検出・出力部 24 は、第 1、第 3 及び第 4 の実施例に係るセンサヘッドとほぼ同様であるが、共通の高周波発生部 22 c で発生させた高周波電気信号は二つに分かれて、それぞれ接続切り換えスイッチ 23

a 及び 2 3 b によりすだれ状電極 2 1 a 及び 2 1 b に同時に接続される点が異なる。それぞれの均質材料球 4 0 a 及び 4 0 b の遅延信号は、再び接続切り換えスイッチ 2 3 a 及び 2 3 b により、検出・出力部 2 4 に伝えられる。ここで、常時弾性表面波の遅延時間の差を測定することによって、温度の影響を取り除き、精度の高い計測を行うことができる。

第 5 の実施例に係るセンサヘッドによれば、二つの均質材料球 4 0 a 及び 4 0 b を、感応膜 2 5 の有無を除いてまったく同様に実現することにより、二つの信号の差分によって直接温度の影響を取り除いた計測が行えるために、温度補正が容易である。

#### (第 6 の実施例)

本発明の第 6 の実施例に係るセンサヘッドは、図 1 1 に示すように、異なる二つの弾性表面波の周回帯 B - 1 及び B - 2 を利用した温度校正例である。均質材料球 4 0 の少なくとも一部に圧電性薄膜 4 1 a 及び 4 1 b が形成されている。圧電性薄膜 4 1 a 及び 4 1 b は弾性表面波を励起し、又、受信するのに用いるすだれ状電極 2 1 a 及び 2 1 b の近傍にのみあり、すだれ状電極 2 1 a 及び 2 1 b の長手方向に直角に弾性表面波の周回帯 B - 1 及び B - 2 がある。それぞれの周回帯 B - 1 及び B - 2 はできるだけ重複しないように、すだれ状電極 2 1 a 及び 2 1 b の配置が決められる。感応膜 2 5 は、一方の弾

性表面波の周回帯 B-1 の近傍にのみ形成される。

第 6 の実施例に係るガスセンサの高周波発生部 22、スイッチ部 23、検出・出力部 24 は、第 1 及び第 3 の実施例に係るセンサヘッド等で説明した構成とほぼ同様であるが、スイッチ部 23 が二つのすだれ状電極 21a 及び 21b に同時に接続されている点が異なる。一方の弾性表面波の周回帯 B-1 にのみ感応膜 25 が存在し、他方には存在しないので、検出・出力部 24 で、常時弾性表面波の遅延時間の差を測定することによって、温度の影響を取り除き、精度の高い計測を行うことができる。

第 6 の実施例に係るセンサヘッドによれば、同一の均質材料球 40 上に二つの周回帯 B-1 及び B-2 が空間的にも近接して設けられ、しかも同一計測法による温度計測手段を備えているために、温度補正精度が極めて高い。

#### (第 7 の実施例)

本発明の第 7 の実施例に係るセンサヘッドは、図 12A に示すように、均質材料球 40 上に温度センサ 42 を備えている。均質材料球 40 の少なくとも一部に圧電性薄膜 41 が形成されている。圧電性薄膜 41 は弾性表面波を励起し、又、受信するのに用いるすだれ状電極 21 の近傍にのみあり、すだれ状電極 21 の長手方向に直角に弾性表面波の周回帯 B がある。感応膜 25 は、弾性表面波の周回帯 B の近傍にのみ形成されているため、それ

以外の領域に他の回路を形成できる。

このため、第 7 の実施例に係るセンサヘッドでは、高周波発生部 6 2、スイッチ部 6 3 や検知・出力部 6 4 が均質材料球 4 0 の表面に集積化されている。

更に第 7 の実施例に係るセンサヘッドでは弾性表面波の周回帯 B から外れたところに温度センサ 4 2 が設けられている。温度センサ 4 2 は、例えば熱電対式、抵抗測温体式、半導体式等種々の方式が用いられる。温度センサ 4 2 は弾性表面波の周回帯 B に非常に近い位置に設けられているので、温度校正の精度が高い。

熱電対式の温度センサ 4 2 を用いたセンサヘッドの例を図 1 2 B に示す。均質材料球 4 0 の表面の周回帯 B に非常に近い位置に第 1 金属膜 4 2 3 のパターンと第 2 金属膜 4 2 3 のパターンとが、一部が互いに積層するように形成され、測温部（測温接点）を構成し、この測温部からボンディングパッド 4 2 1 及び 4 2 3 まで配線パターンが形成されている。図 1 2 B に示すように、すだれ状電極 2 1 が周回帯 B 上の一部に配置され、すだれ状電極 2 1 は、ボンディングパッド 2 1 1, 2 1 2 に接続されている。ボンディングパッド 2 1 1, 2 1 2 を介して、図示を省略した実装基板の高周波発生部から高周波電気信号が供給され、供給された高周波電気信号を圧電変換して弾性表面波を励起する。更に、すだれ状電極 2 1 は、赤道上のベルト状の周回帯 B を周回してきた弾性表面波を圧電変換して、再び高周波電気信号に変換し、ボンデ

ィングパッド 2 1 1 , 2 1 2 を介して、図示を省略した実装基板の検出・出力部に供給され、検出・出力部で検出される。

図 1 2 B に示す温度センサのボンディングパッド 4 2 1 まで配線パターンは、第 1 金属膜 4 2 3 で配線するのが好ましいが、第 1 金属膜 4 2 3 と特性の近い補償導線となる金属膜を用いても良い。同様に、ボンディングパッド 4 2 2 まで配線パターンは、第 2 金属膜 4 2 4 で配線するのが好ましいが、第 2 金属膜 4 2 4 と特性の近い補償導線となる金属膜を用いても良い。ボンディングパッド 4 2 1 及び 4 2 3 を介して、図示を省略した実装基板の基準接点に導かれ、実装基板上の計測機器により温度測定される。

例えば、プラス（＋）側の第 1 金属膜 4 2 3 として 1 0 % クロム（C r）－ニッケル（N i）合金膜、マイナス（－）側の第 2 金属膜 4 2 4 として、2 % アルミニウム（A l）－N i 合金膜を用いれば、均質材料球 4 0 の表面上に、International Electrotechnical Comission（I E C）のタイプ K に相当するクロメル・アルメル熱電対を形成できる。ボンディングパッド 4 2 1、ボンディングパッド 4 2 1 から第 1 金属膜 4 2 3 まで配線パターン及び第 1 金属膜 4 2 3 は、金属マスクを用いた真空蒸着若しくはスパッタリング、或いはリフトオフ法等により形成できる。同様に、ボンディングパッド 4 2 2、ボンディングパッド 4 2 2 から第 2 金属膜 4 2 4 まで配

線パターン及び第2金属膜424も金属マスクを用いた真空蒸着若しくはスパッタリング、或いはリフトオフ法等により形成できる。中でも、金属マスクを用いる場合は、同じマスクをずらしてボンディングパッド421、配線パターン、第1金属膜423のパターンと、ボンディングパッド422、配線パターン、第2金属膜424のパターンが簡単に形成できる。

第1金属膜423及び第2金属膜423のパターンは、例えば50nm～300nm程度の厚さで、0.5mm角～2mm角程度の大きさに形成すれば良い。例えば、直径10mmの均質材料球40の表面に約1mm角、厚さ約100nmの10%Cr-Ni合金膜423と、約1mm角、厚さ約100nmの2%Al-Ni合金膜424をずらして積層した温度センサによれば、周囲の温度が23度である時にセンサヘッドに45MHzの100μ秒の高周波パースト信号を1KHzで入力するときに、センサヘッド自体の温度が約0.08度上昇することが観測できた。一方、ワイヤタイプのクロメル・アルメル熱電対を均質材料球40の表面に点接触して測定する方法では0.08度の変化を検出することは0.03度の検出感度内では測定することはできなかった。この様に、別個に用意した熱電対を均質材料球40の表面に接触させて均質材料球40の表面の温度を測定する場合に比べて、図12Bに示す温度センサは、遅延なく温度測定ができる。

抵抗測温体式の温度センサ 4 2 を用いたセンサヘッドの例を図 1 2 C に示す。図 1 2 C では、抵抗測温体パターン 4 2 5 が均質材料球 4 0 の表面の周回帯 B の少なくとも一部に配置されている。図 1 2 B と同様に、図 1 2 C においても、すだれ状電極 2 1 が周回帯 B 上の一部に配置され、すだれ状電極 2 1 は、ボンディングパッド 2 1 1, 2 1 2 に接続されている。ボンディングパッド 2 1 1, 2 1 2 を介して、図示を省略した実装基板の高周波発生部及び検出・出力部に接続される。

抵抗測温体パターン 4 2 5 は、温度に依存して抵抗が変化する材料、例えば金属薄膜で構成すれば良い。そして、抵抗測温体パターン 4 2 5 の抵抗の変化を測定することで熱電対の場合と同様に均質材料球 4 0 の表面の温度の直接測定が可能である。抵抗測温体パターン 4 2 5 の抵抗の変化を大きくするためには、抵抗測温体パターン 4 2 5 を構成する材料の抵抗率を大きくする、抵抗測温体パターン 4 2 5 の膜厚を薄くする、抵抗測温体パターン 4 2 5 の線幅を狭くする、或いは抵抗測温体パターン 4 2 5 の全長を長くすれば良い。図 1 2 C では、抵抗測温体パターン 4 2 5 を、蛇行する所謂メアンダラインとして形成し、全長を長くしている。抵抗測温体パターン 4 2 5 は、薄い単層の薄膜で形成するのが、周回帯 B を伝搬する弾性表面波の周回を阻害しないので好ましい。

例えば、抵抗測温体パターン 4 2 5 として、白金 (Pt) 薄膜の細線パターンを用いる場合は、白金薄膜の厚

さは例えば 50 nm ~ 400 nm 程度、好ましくは 150 nm ~ 300 nm の厚さに選べば良い。白金薄膜の細線パターン 425 は、金属マスクを用いた真空蒸着若しくはスパッタリング、或いはリフトオフ法等により形成できる。

図 12C に示す温度センサのボンディングパッド 421 まで配線パターンは、抵抗測温体パターン 425 と同一の材料で配線するのが好ましいが、アルミニウム (Al)、金 (Au) や銅 (Cu) 等の電気伝導率の高い金属膜を用いても良い。ボンディングパッド 421 及び 423 を介して、図示を省略した実装基板に導かれ、実装基板上の計測機器により温度測定がされる。

図 12C に示すように、抵抗測温体パターン 425 を弾性表面波の周回帯 B に形成することにより、弾性表面波の周回する表面の直接測定が可能で最も正確な測定が可能で、しかも、弾性表面波の周回を阻害しないようにできる。

例えば、幅約 0.2 mm、厚さ約 200 nm の白金薄膜を用い、8 回折り返しのメアンダラインで抵抗測温体パターン 425 を構成した。メアンダラインの全長は、3.76 mm である。この抵抗測温体パターン 425 で、抵抗変化を測定したところ比抵抗で  $1.3851 / 100^{\circ}\text{C}$  (JIS C 1604-1997 相当) であり、十分な測定感度を持つ。

なお、白金の抵抗測温体パターン 425 の周回経路に

かかる部分について、白金膜も水素から弾性的な影響を受けることが「燃料電池システム用窒化ガリウム集積化ガス／温度センサ（Gallium Nitride Integrated Gas/Temperature Sensors for Fuel Cell Systems）、水素、燃料電池及びインフラストラクチャ技術（Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies）、FY2003 プログレス・レポート（Progress Report）」によって知られている。又、白金の抵抗の温度依存性もパラジウム（Pd）膜（或いはその合金膜）の抵抗の影響を受けることから、弾性表面波の周回速度変化から水素濃度に変換する際には、白金の抵抗測温体パターン４２５の領域影響を考慮して校正を行う。

他の対策として、白金膜とパラジウム膜（或いはその合金膜）の間に水素不透過膜を形成することによって白金による温度計測への水素濃度の影響を避けることが可能である。

#### （第８の実施例）

本発明の第８の実施例に係るセンサヘッドは、図１３に示すように、均質材料球４０の周回帯Ｂに空洞３１を介してカバー３２が設けられている。カバー３２は例えばガス透過性があるように、メッシュ状の金属や多孔質材料で形成する。又、水素の様に非常に透過性の高いガスの場合は薄い例えば数 $\mu\text{m}$ 厚のフィルムを使用することで、パーティクルなどを除去できる。ガスを透過させ

るための穴径は、均質材料球 40 表面の弾性表面波の波長に比べて十分小さくなるように設定する。

このカバー 32 の存在により、弾性表面波の周回帯 B に大きなパーティクルが付着して弾性表面波の伝搬特性に影響を与え、計測に誤差が生じるのを避けることができる。即ち、本発明の第 8 の実施例に係るセンサヘッドによれば、測定環境下におけるパーティクルの付着によるセンサヘッド特性の劣化を防ぐことが可能になる。

勿論カバー 32 の一部にガス導入口と排出口を設けて、弾性表面波の周回帯 B 上にのみガスを流す構造としても構わない。

#### （第 9 の実施例）

本発明の第 9 の実施例に係るセンサユニットは、図 14 に示すように、3 次元基体 40 を搭載する実装基板 62 と、実装基板 62 上に配置され、電気音響変換素子（図示省略）に高周波電気信号を供給する高周波発生部（図示省略）と、実装基板 62 上に配置され、電気音響変換素子から弾性表面波の伝搬特性に関する高周波信号を計測する検出・出力部（図示省略）と、この実装基板 62 の表面に配置され、高周波発生部と電氣的に接続された第 1 の実装配線 61a と、この実装基板 62 の表面に配置され、検出・出力部と電氣的に接続された第 2 の実装配線 61b と、第 1 の実装配線 61a 及び第 2 の実装配線 61b のそれぞれと電気音響変換素子とを電氣的

に接続する導電性接続体 50 a , 50 b とを備えている。

電気音響変換素子の図示を省略しているが、既に説明した第 1 ～ 第 8 の実施例に係るセンサヘッドの構造から容易に理解できるであろう。即ち、第 9 の実施例に係るセンサユニットは、第 1 ～ 第 8 の実施例において説明したセンサヘッドのいずれかを、平行平板形状の実装基板 62 上に導電性接続体 50 a , 50 b としての金属バンプ 50 a , 50 b を用いて、実装した実装体（アセンブリ）である。より具体的には、実装基板 62 上に、実装配線 61 a , 61 b がパターンニングされ、この実装配線 61 a , 61 b に、金属バンプ 50 a , 50 b を用いて、第 1 ～ 第 8 の実施例に係るセンサヘッドのいずれかで説明した、センサヘッドが実装されている。

金属バンプ 50 a , 50 b は、半田ボール、金（Au）バンプ、銀（Ag）バンプ、銅（Cu）バンプ、ニッケル／金（Ni-Au）バンプ、或いはニッケル／金／インジウム（Ni-Au-In）バンプ等が使用可能である。半田ボールとしては、直径 100  $\mu$ m ～ 250  $\mu$ m、高さ 50  $\mu$ m ～ 200  $\mu$ m の錫（Sn）：鉛（Pb）＝ 6 ： 4 の共晶半田等が使用可能である。或いは、Sn ： Pb ＝ 5 ： 95 の半田でも良い。用いられ、熱圧着と超音波振動の組み合わせ、或いは熱溶融等によって接着が行える。

実装基板 62 の材料としては、有機系の種々な合成樹脂、セラミック、ガラス等の無機系の材料が使用可能で

ある。有機系の樹脂材料としては、フェノール樹脂、ポリエステル樹脂、エポキシ樹脂、ポリイミド樹脂、フッ素樹脂等が、使用可能で、又板状にする際の芯となる基材は、紙、ガラス布、ガラス基材などが使用される。無機系の基板材料として一般的なものはセラミックである。又、放熱特性を高めるものとして金属基板、透明な基板が必要な場合には、ガラスが用いられる。セラミック基板の素材としてはアルミナ ( $Al_2O_3$ )、ムライト ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ )、ベリリア ( $BeO$ )、窒化アルミニウム ( $AlN$ )、窒化珪素 ( $SiC$ ) 等が使用可能である。更に、鉄、銅などの金属上に耐熱性の高いポリイミド系の樹脂板を積層して多層化した金属ベースの基板（金属絶縁基板）でも構わない。実装配線 61a, 61b としては、金、銅、アルミニウム等の金属薄膜が使用可能である。

均質材料球 40 は、弾性表面波の周回帯 B が赤道近傍に限られているため、周回帯 B でなければどこに金属バンプ 50a, 50b を接続詞、均質材料球 40 を固定しても構わない。金属バンプ 50a, 50b を取り付けるための金属パッド（ボンディングパッド）は弾性表面波の周回帯 B を避けて設置される。しかし、実装基板 62 側に配置された高周波発生部からすだれ状電極にパワーを供給し、すだれ状電極から高周波電気信号を実装基板 62 側に配置された検出・出力部へ供給するためには、すだれ状電極から電極配線 27 が延長形成され、この電

極配線 27 の端部に、金属パッド（ボンディングパッド）が設けられる。なお、図 14 では、特に、高周波発生部や検出・出力回路については図示していないが、第 9 の実施例に係るセンサユニットでは、高周波発生部や検出・出力回路は、実装基板 62 上に配置されている。そして、第 1 の実装配線 61a が高周波発生部と電氣的に接続され、第 2 の実装配線 61b が検出・出力部と電氣的に接続されている。そして、導電性接続体 50a, 50b としての金属バンプ 50a, 50b が、それぞれ、第 1 及び第 2 の実装配線 61b のそれぞれと電気音響変換素子（図示省略）とを電氣的に接続している。このような

高周波発生部や検出・出力回路が、実装基板 62 上に形成されたシステム・オン・パッケージの他に、実装基板 62 の外に別途接続しても構わない。

一方、均質材料球 40 上に高周波発生部や検出・出力回路等の回路が集積化されている場合には、直接計測結果が得られることになるので、すだれ状電極から金属パッド（ボンディングパッド）までの電極配線 27 は省略可能である。

なお、第 9 の実施例に係るセンサユニットの実装方法では、被計測ガスを実装基板 62 の表面と平行に流すことが好ましい。

図 15 は、図 14 に示したセンサユニットの実装方法を用いて、複数のセンサヘッド（球状弾性表面波素子）

をアレイ状に実装した場合の模式的な構造例である。センサヘッド（球状弾性表面波素子）１が、実装基板６２上にアレイ状に配列されている。弾性表面波を励起し、又、受信するのに用いるすだれ状電極２１は、それぞれの均質材料球４０の裏面で、図示を省略した金属バンプにより実装基板６２上の図示を省略した実装配線に接続される。それぞれの球状弾性表面波素子１は、球状弾性表面波素子毎に、異なる感応膜を有し、異なるガス分子を計測するようにすることができる。

#### （第１０の実施例）

本発明の第１０の実施例に係るセンサユニットは、図１６に示すように、３次元基体４０を搭載する実装基板６２と、実装基板６２上に配置され、電気音響変換素子（図示省略）に高周波電気信号を供給する高周波発生部（図示省略）と、実装基板６２上に配置され、電気音響変換素子から弾性表面波の伝搬特性に関する高周波信号を計測する検出・出力部（図示省略）と、この実装基板６２の表面に配置され、高周波発生部と電氣的に接続された第１の実装配線６４ａと、この実装基板６２の表面に配置され、検出・出力部と電氣的に接続された第２の実装配線６４ｂと、第１の実装配線６４ａ及び第２の実装配線６４ｂのそれぞれと電気音響変換素子とを電氣的に接続する導電性接続体６３ａ，６３ｂとを備えている。

電気音響変換素子の図示を省略しているが、既に説明

した第 1 ～ 第 8 の実施例に係るセンサヘッドの構造から容易に理解できるであろう。

センサヘッドを、平行平板形状の実装基板 6 2 に導電性接続体 6 3 a , 6 3 b としてのボンディングワイヤ 6 3 a , 6 3 b を用いて、実装した第 9 の実施例に係るセンサユニットとは異なる構造の実装体（アセンブリ）である。

第 1 0 の実施例に係るセンサユニットでは、エポキシ樹脂等で形成された実装基板 6 2 に特徴があり、実装基板 6 2 の表面（第 1 主表面）に、均質材料球 4 0 より直径の大きな空洞 6 6 が設けられている。実装基板 6 2 の表面（第 1 主表面）の空洞 6 6 の周辺部には、実装配線 6 1 a , 6 1 b がパターンニングされている。そして、均質材料球 4 0 が、ボンディングワイヤ 6 3 a , 6 3 b により実装配線 6 1 a , 6 1 b に電氣的に接続され、同時に空洞 6 6 中に宙釣りに保持される。

ボンディングワイヤ 6 3 a , 6 3 b は、例えば金、アルミニウム、銅の細いワイヤが用いられる。特に金ワイヤのように柔らかい材料を用いる場合には、第 1 0 の実施例に係るセンサユニットの実装形状を組立した後に、金表面にクロム等の堅い金属を鍍金法にて堆積させ、機械強度を改善しても良い。均質材料球 4 0 は、弾性表面波の周回帯 B が赤道近傍に限られているため、周回帯 B でなければどこで均質材料球 4 0 を固定しても構わない。ボンディングワイヤ 6 3 a , 6 3 b を取り付けるための

ボンディングパッドは、弾性表面波の周回帯 B を避けるように配置する。

第 10 の実施例に係るセンサユニットにおいても、高周波発生部や検出・出力回路については記述されていないが、実装基板 62 上に形成するシステム・オン・パッケージでも構わないし、実装基板 62 の外に別途接続しても構わない。均質材料球 40 上にこれらの回路が集積化されている場合には、直接計測結果が得られることになる。なお、第 10 の実施例に係るセンサユニットの実装方法では、被計測ガスを実装基板 62 の表面と垂直に流し、空洞 66 中を通過させることが好ましい。

図 17 は図 16 の実装法を用いて、複数の球状弾性表面波素子（センサヘッド）をアレイ状に実装した場合の模式的な構造例である。球状弾性表面波素子（センサヘッド） $X_{11}$ ,  $X_{12}$ ,  $X_{13}$ ,  $X_{21}$ ,  $X_{22}$ ,  $X_{23}$ ,  $\dots\dots$ が、実装基板 65 上の空洞  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{13}$ ,  $C_{21}$ ,  $C_{22}$ ,  $C_{23}$ ,  $\dots\dots$ 内にアレイ状配列されている。弾性表面波を励起し、又、受信するのに用いるすだれ状電極  $Q_{11}$ ,  $Q_{12}$ ,  $Q_{13}$ ,  $Q_{21}$ ,  $Q_{22}$ ,  $Q_{23}$ ,  $\dots\dots$ は金属ワイヤ 63 a<sub>11</sub>, 63 a<sub>12</sub>, 63 a<sub>13</sub>, 63 a<sub>21</sub>, 63 a<sub>22</sub>, 63 a<sub>23</sub>, 63 b<sub>11</sub>, 63 b<sub>12</sub>, 63 b<sub>13</sub>, 63 b<sub>21</sub>, 63 b<sub>22</sub>, 63 b<sub>23</sub>,  $\dots\dots$ により実装基板 65 上の実装配線 64 a 若しくは 64 b に接続される。それぞれの球状弾性表面波素子  $X_{11}$ ,  $X_{12}$ ,  $X_{13}$ ,  $X_{21}$ ,  $X_{22}$ ,  $X_{23}$ ,  $\dots\dots$ は、異なる感応膜を有し、異なるガス分子を計測するようになすことができる。

### (第 1 1 の実施例)

第 1 ～ 第 8 の実施例に係るセンサヘッドでは、周回帯 B が 3 次元基体 4 0 の外周側表面に定義された場合を説明した。しかし、周回帯は、3 次元基体の空洞部分の内壁側表面にも定義可能である。

本発明の第 1 1 の実施例に係るセンサヘッドは、図 1 8 に示すように、弾性特性の均質な材料よりなる 3 次元基体としての筐体 7 4 の内部に、球状の内面を有する空洞部分（センシングキャビティ）7 5 が設けられている。そして、このセンシングキャビティ（空洞部分）7 5 の内壁側表面に周回帯が定義されている。即ち、第 1 1 の実施例に係るセンサヘッドにおいては、センシングキャビティ（空洞部分）7 5 の内壁側表面に感応膜 7 3 が形成されており、感応膜 7 3 と筐体 7 4 の境界面の一部に、圧電性薄膜 7 2、及びすだれ状電極 7 1 が形成されている。

第 1 1 の実施例に係るセンサヘッドのセンシングキャビティ 7 5 の空洞部分の内壁側表面に定義された周回帯を用いても、第 1 ～ 第 8 の実施例に係るセンサヘッドのいずれかで説明したセンサヘッドと同様に、弾性表面波の多重周回現象が起こる。

第 1 1 の実施例に係るセンサヘッドの構造は、電鋳法と同様な方法で実現できる。即ち、第 1 ～ 第 8 の実施例に係るセンサヘッドのいずれかで説明したセンサヘッド

製造のためのシリコン球 40 を電鋳母型（マスター）として用い、第 1 ～ 第 8 の実施例に係るセンサヘッドのいずれかで説明したセンサヘッドの製造方法とは逆の順序で、感応膜 73、圧電性薄膜 72、すだれ状電極 71、筐体 74 を順に堆積した後、電鋳母型（マスター）としてのシリコン球 40 を、二フッ化キセノン（ $XeF_2$ ）でエッチング除去することで、容易にセンシングキャビティ 75 を製造できる。 $XeF_2$  はシリコンのみをエッチングし、他の材料に対する選択比が非常に大きいので、感応膜 25、圧電性薄膜、すだれ状電極 21 等の材料として、これまで述べてきた材料がそのまま使用できる。

第 11 の実施例に係るセンサヘッドにおいては、弾性表面波の伝搬面がセンシングキャビティ 75 の内壁側にあるために、パーティクルの影響を受けにくい。そして、非常に少ない量の被計測ガスをサンプリングしてセンシングキャビティ 75 にガス入口 81 からガス出口 82 向かって流せば良いので、高感度、且つ、高応答性であるだけでなく、非常に小型で効率が良い。

#### （その他の実施例）

上記のように、本発明は第 1 ～ 第 11 の実施例によって項記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施例、模式的な構造例及び運用技術が明らかとなろう。

既に述べた第 1 ～ 第 11 の実施例に係るセンサヘッドの説明においては、「3次元基体」として、均質材料球 40 を用いた場合を例示したが、3次元基体は真球に限定されず、センサとしての精度の低下等を許容できる場合は、ピヤ樽形状等でも良く、繭型やラクビーボール型でも良い。即ち、本発明の「3次元基体」は、周回帯の中心線に沿った第 1 の主方向に第 1 の曲率を有し、且つこの第 1 の主方向に直交する第 2 の主方向に周回帯の近傍で、第 2 の曲率を有していれば、コリメートされた弾性表面波が多重周回可能である。第 2 の曲率を有する周回帯の幅は、第 2 の主方向と曲率半径と、弾性表面波の波長で決まる。例えば、第 2 の主方向の曲率半径が 5 mm 程度であれば、周波数が 45 MHz では、周回帯の幅は、第 2 の主方向の曲率半径の約  $7/50$  ぐらいになる。

このため、周回帯の幅から外れた第 2 の主方向の遠方では、多面体形状等を有していても、コリメートされた弾性表面波が多重周回可能なトポロジーが存在しうる。

更に、第 1 ～ 第 11 の実施例に係るセンサヘッドの構造は、実空間での 3次元構造について述べたが、弾性テンソル空間において、弾性定数等を徐々に変化させ、実空間で曲面と等価な構造を実現しても良い。例えば、第 2 の主方向に沿って、周回帯の中心から離れるに従い、徐々に弾性特性を変化させても、球面と同様な効果が実現できる。

この様に、本発明はここでは項記載していない様々な

実施例に係るセンサヘッド等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲によってのみ定められるものである。

### 産業上の利用可能性

本発明によれば、高感度、高速応答で、なおかつ機械的に丈夫なセンサヘッド及びこれを用いたガスセンサ、更にはセンサヘッドを実装したセンサユニットが提供でき、大気中や気相化学プロセス等における種々のガス成分を分析する分野に利用可能である。

具体的には、感応膜を適度を選ぶことにより、家庭用ガス警報器、工業用ガス検知警報器、携帯用ガス検知器の分野に利用可能である。又、匂いセンサ等の分野や大気環境測定システム等にも利用可能である。

更には、空燃比制御装置、触媒装置、排気浄化装置、燃焼装置、給油装置等のボイラー、自動車産業の分野や化学プラントや半導体工場におけるガス濃度検知装置の分野にも、感応膜を適度を選ぶことにより利用可能である。更には、食品の品質管理用センサ等を含む異常検出装置の分野にも利用可能である。

## 請求の範囲

1. 円環状に周回帯を定義可能な曲面を有する3次元基体と、

前記3次元基体の前記周回帯上に位置し、前記周回帯に沿って多重周回するように弾性表面波を励起する電気音響変換素子と、

少なくとも一部が前記3次元基体の前記周回帯の少なくとも一部に存在し、特定のガス分子と反応する感応膜とを備えることを特徴とするセンサヘッド。

2. 前記周回帯は、前記3次元基体の外周側表面に定義されることを特徴とする請求の範囲第1項記載のセンサヘッド。

3. 前記周回帯は、前記3次元基体の空洞部分の内壁側表面に定義されることを特徴とする請求の範囲第1項記載のセンサヘッド。

4. 前記感応膜の厚さが、100nm以下であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のセンサヘッド。

5. 前記感応膜の厚さが、前記弾性表面波の波長の1/500以下であることを特徴とする請求の範囲第1項に

記載のセンサヘッド。

6. 前記感応膜の厚さが、前記弾性表面波の波長の  $1/1000$  以下であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のセンサヘッド。

7. 前記感応膜がパラジウムを含む膜であることを特徴とする請求の範囲第1項に記載のセンサヘッド。

8. 前記3次元基体の表面に、該表面温度を測定する温度センサを更に備えることを特徴とする請求の範囲第1項記載のセンサヘッド。

9. 前記温度センサは、前記周回帯の少なくとも一部に配置された抵抗測温体パターンであることを特徴とする請求の範囲第8項記載のセンサヘッド。

10. 円環状に周回帯を定義可能な曲面を有する3次元基体と、

前記3次元基体の前記周回帯上に位置し、前記周回帯に沿って多重周回するように弾性表面波を励起し、且つ多重周回した前記弾性表面波から高周波信号を生成する電気音響変換素子と、

少なくとも一部が前記3次元基体の前記周回帯の少なくとも一部に存在し、特定のガス分子と反応する感応膜

と、

前記電気音響変換素子に高周波電気信号を供給する高周波発生部と、

前記電気音響変換素子から前記弾性表面波の伝搬特性に関する高周波信号を計測する検出・出力部

とを備えたことを特徴とするガスセンサ。

1 1 . 前記高周波発生部及び前記検出・出力部は、前記3次元基体に集積化されていることを特徴とする請求の範囲第10項記載のガスセンサ。

1 2 . 前記3次元基体の表面に、該表面温度を測定する温度センサを更に備えることを特徴とする請求の範囲第10項記載のガスセンサ。

1 3 . 前記温度センサは、前記周回帯の少なくとも一部に配置された抵抗測温体パターンであることを特徴とする請求の範囲第12項記載のガスセンサ。

1 4 . 円環状に周回帯を定義可能な曲面を有する3次元基体と、

前記3次元基体の前記周回帯上に位置し、前記周回帯に沿って多重周回するように弾性表面波を励起し、且つ多重周回した前記弾性表面波から高周波信号を生成する電気音響変換素子と、

少なくとも一部が前記３次元基体の前記周回帯の少なくとも一部に存在し、特定のガス分子と反応する感応膜と、

前記３次元基体を搭載する実装基板と、

前記実装基板上に配置され、前記電気音響変換素子に高周波電気信号を供給する高周波発生部と、

前記実装基板上に配置され、前記電気音響変換素子から前記弾性表面波の伝搬特性に関する高周波信号を計測する検出・出力部と、

該実装基板の表面に配置され、前記高周波発生部と電氣的に接続された第１の実装配線と、

該実装基板の表面に配置され、前記検出・出力部と電氣的に接続された第２の実装配線と、

前記第１及び第２の実装配線のそれぞれと前記電気音響変換素子とを電氣的に接続する導電性接続体とを備えたことを特徴とするセンサユニット。

１５．前記３次元基体の表面に、該表面温度を測定する温度センサを更に備えることを特徴とする請求の範囲第１４項記載のセンサユニット。

１６．前記温度センサは、前記周回帯の少なくとも一部に配置された抵抗測温体パターンであることを特徴とする請求の範囲第１５項記載のセンサユニット。

17. 円環状に周回帯を定義可能な曲面を有する3次元基体と、

前記3次元基体の前記周回帯上に位置し、前記周回帯に沿って多重周回するように弾性表面波を励起し、且つ多重周回した前記弾性表面波から高周波信号を生成する電気音響変換素子と、

少なくとも一部が前記3次元基体の前記周回帯の少なくとも一部に存在し、特定のガス分子と反応する感応膜と、

前記3次元基体上に集積化され、前記電気音響変換素子に高周波電気信号を供給する高周波発生部と、

前記3次元基体上に集積化され、前記電気音響変換素子から前記弾性表面波の伝搬特性に関する高周波信号を計測する検出・出力部と、

前記3次元基体を搭載する実装基板と、

該実装基板の表面に配置された実装配線と、

前記第1の実装配線と前記検出・出力部とを電氣的に接続する導電性接続体

とを備えたことを特徴とするセンサユニット。

18. 前記3次元基体の表面に、該表面温度を測定する温度センサを更に備えることを特徴とする請求の範囲第17項記載のセンサユニット。

19. 前記温度センサは、前記周回帯の少なくとも一部

に配置された抵抗測温体パターンであることを特徴とする請求の範囲第18項記載のセンサユニット。

FIG. 1

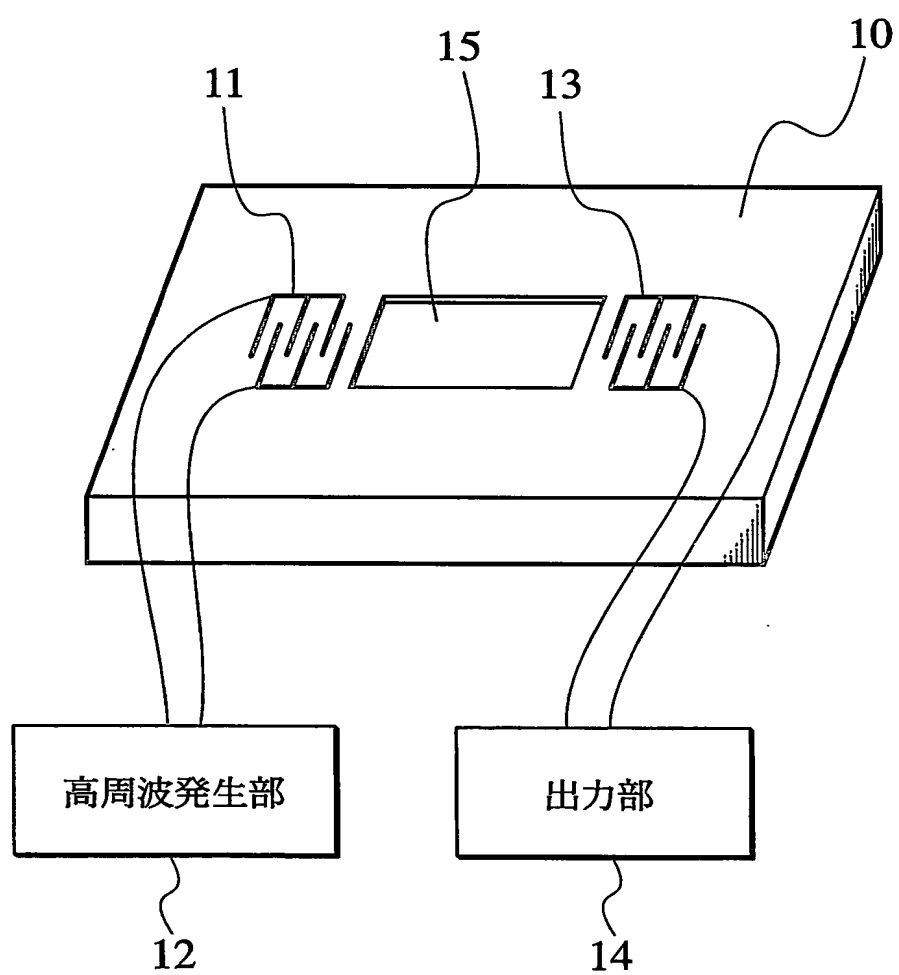


FIG. 2A

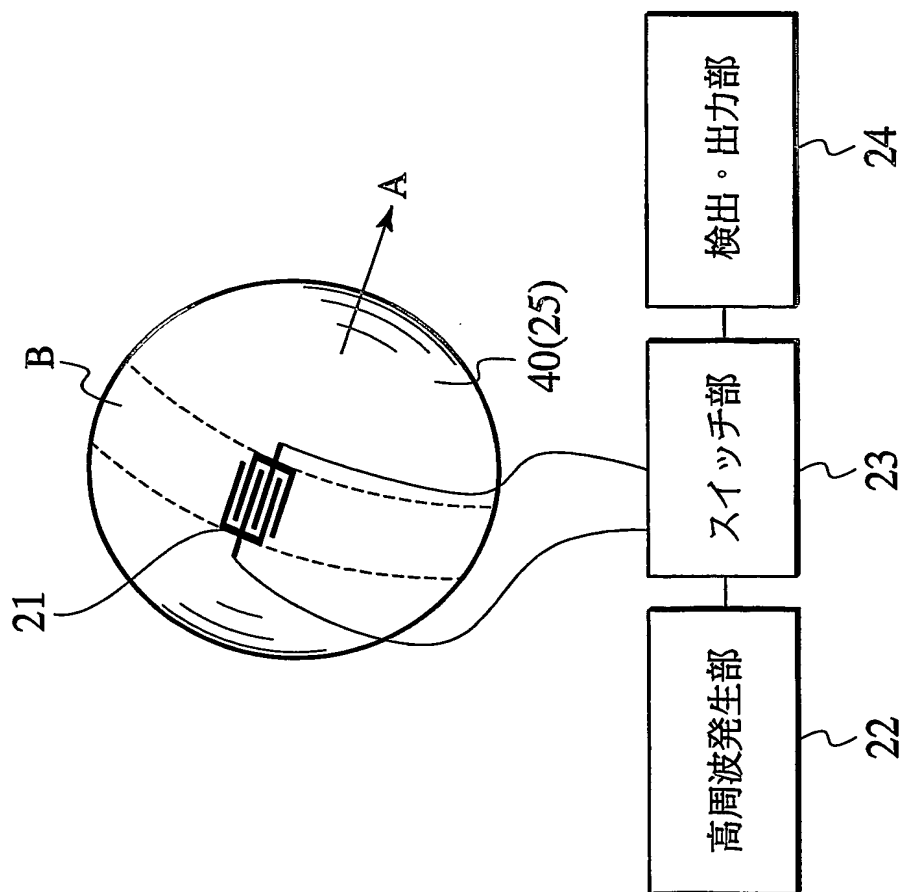


FIG. 2B

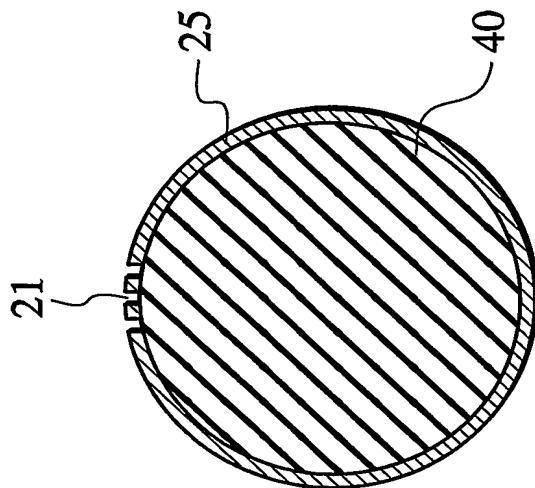


FIG. 3

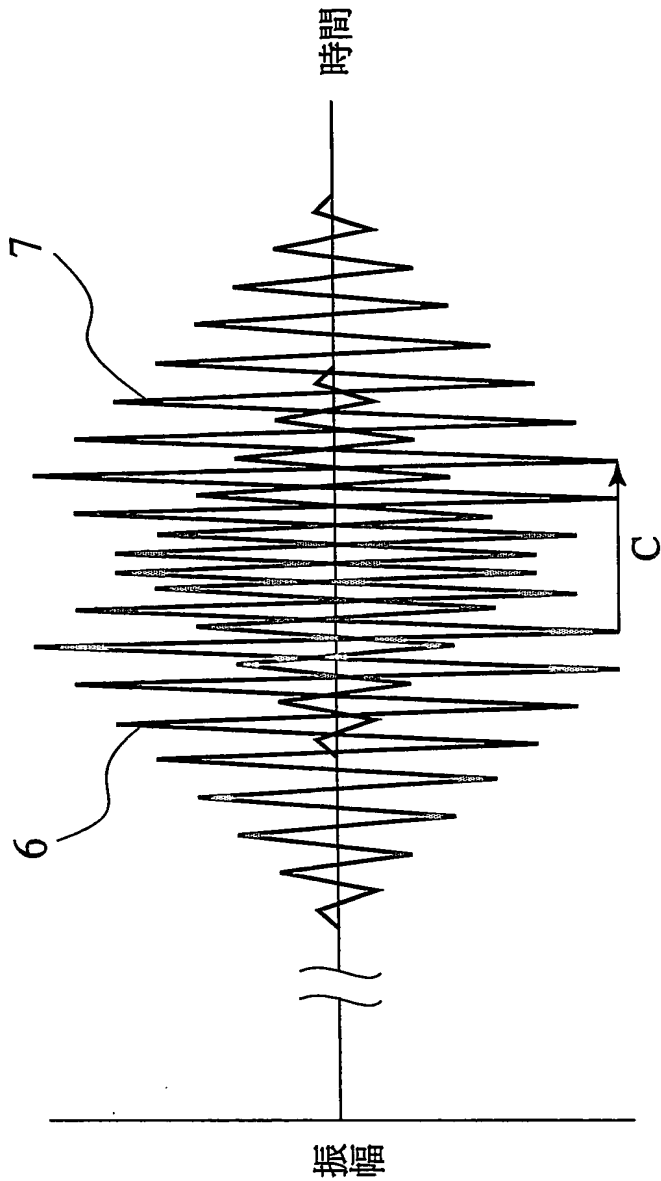


FIG. 4A

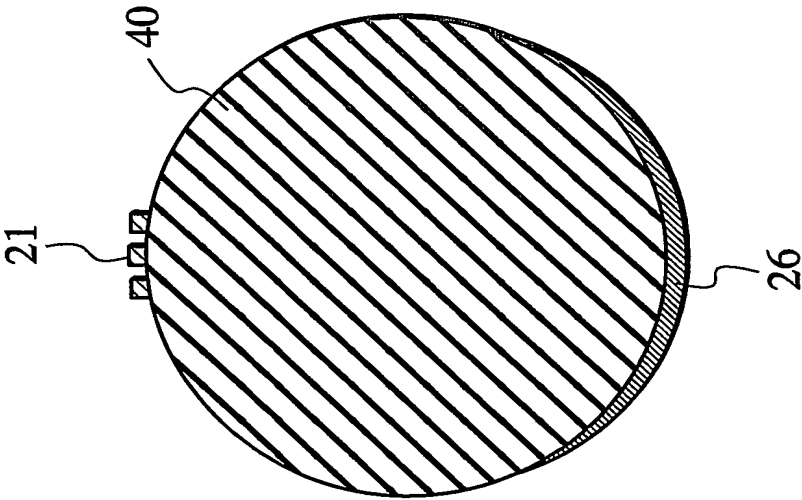


FIG. 4B

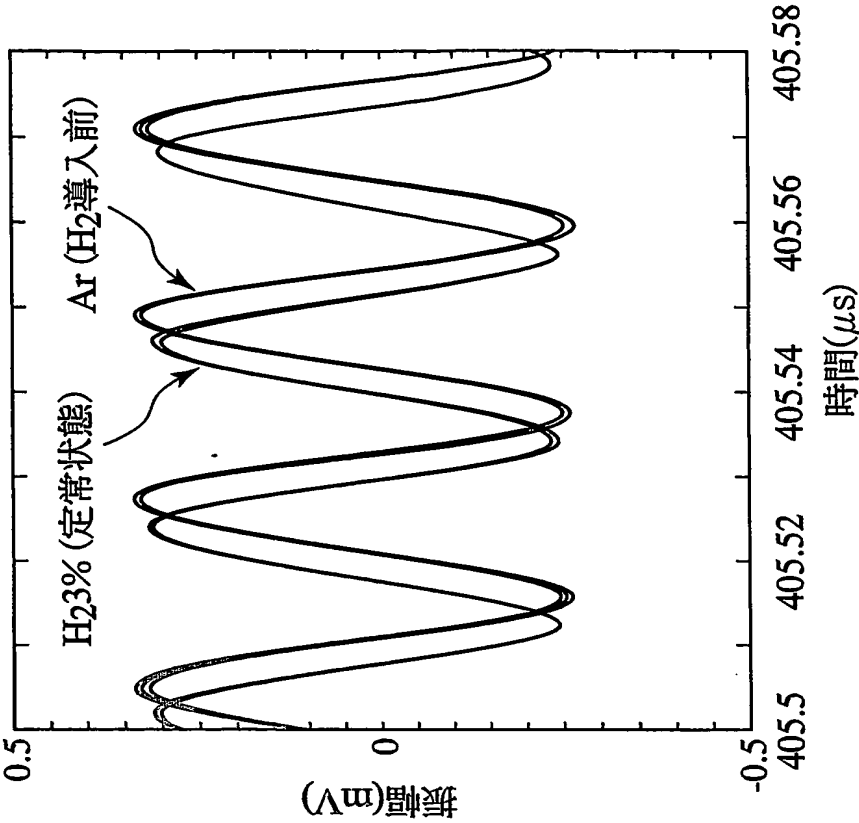


FIG. 5

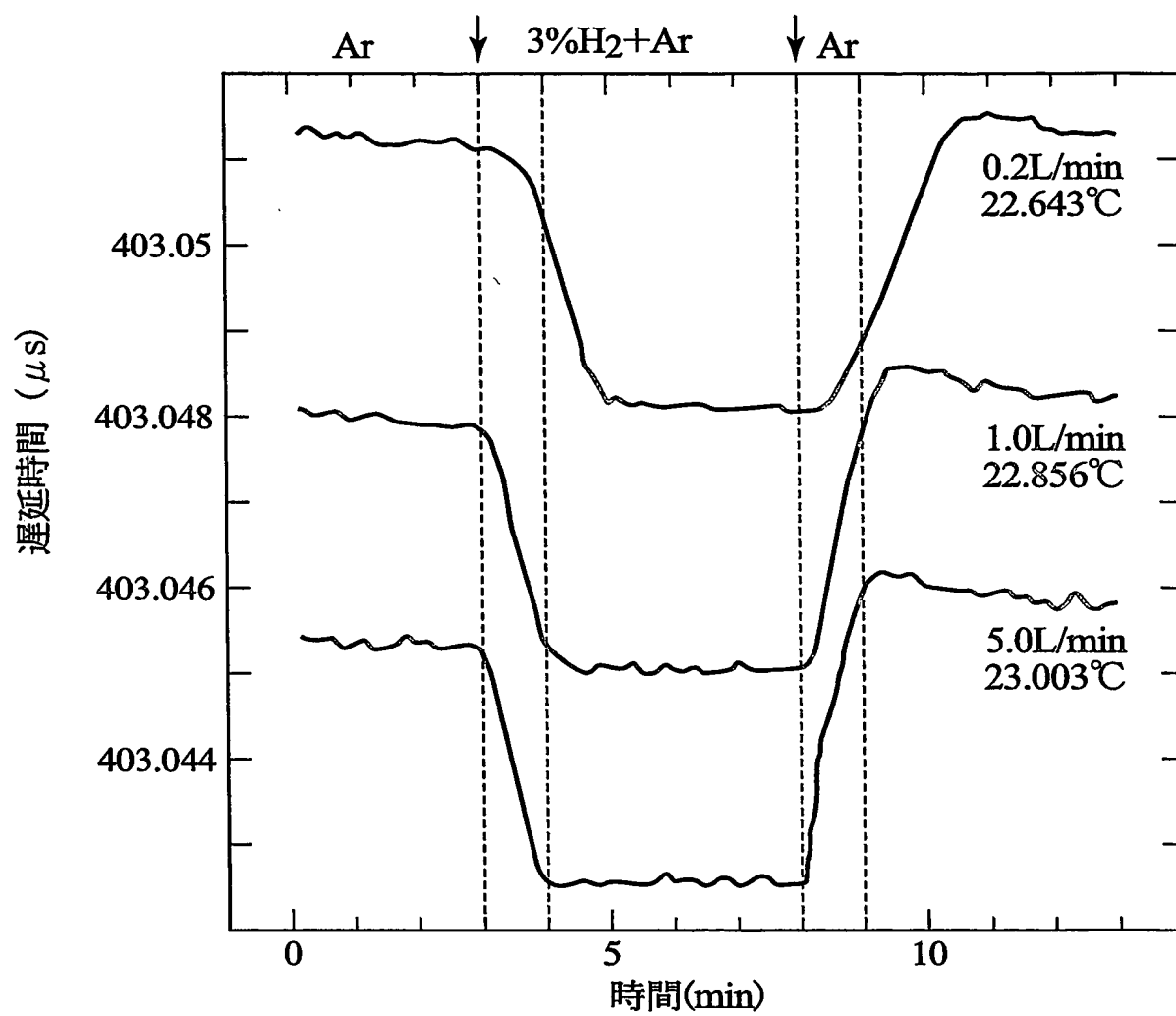


FIG. 6A

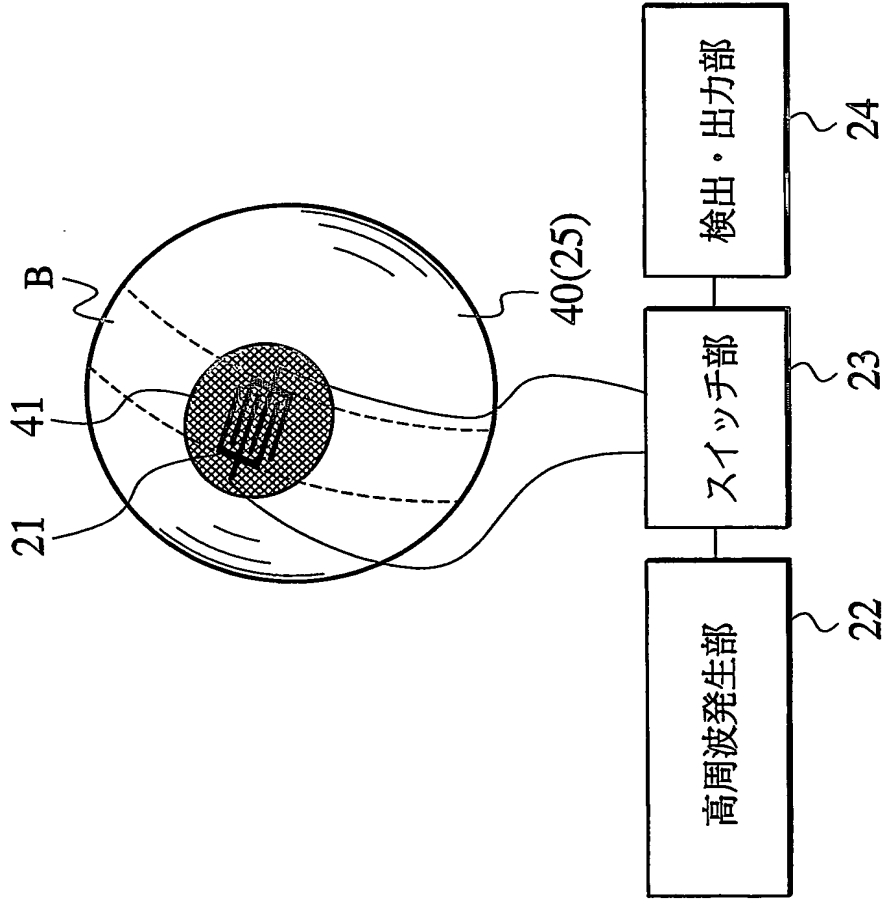


FIG. 6B

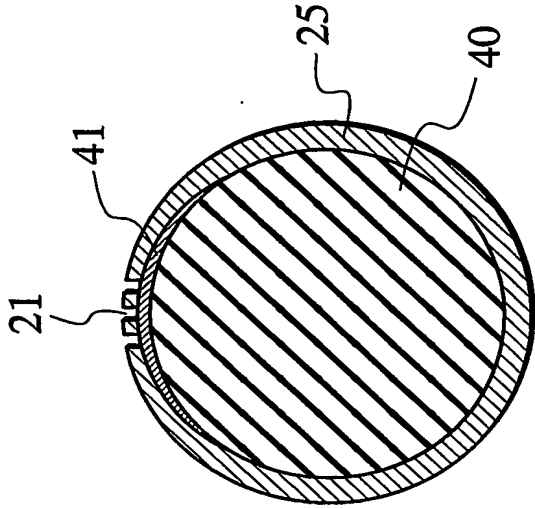


FIG. 7

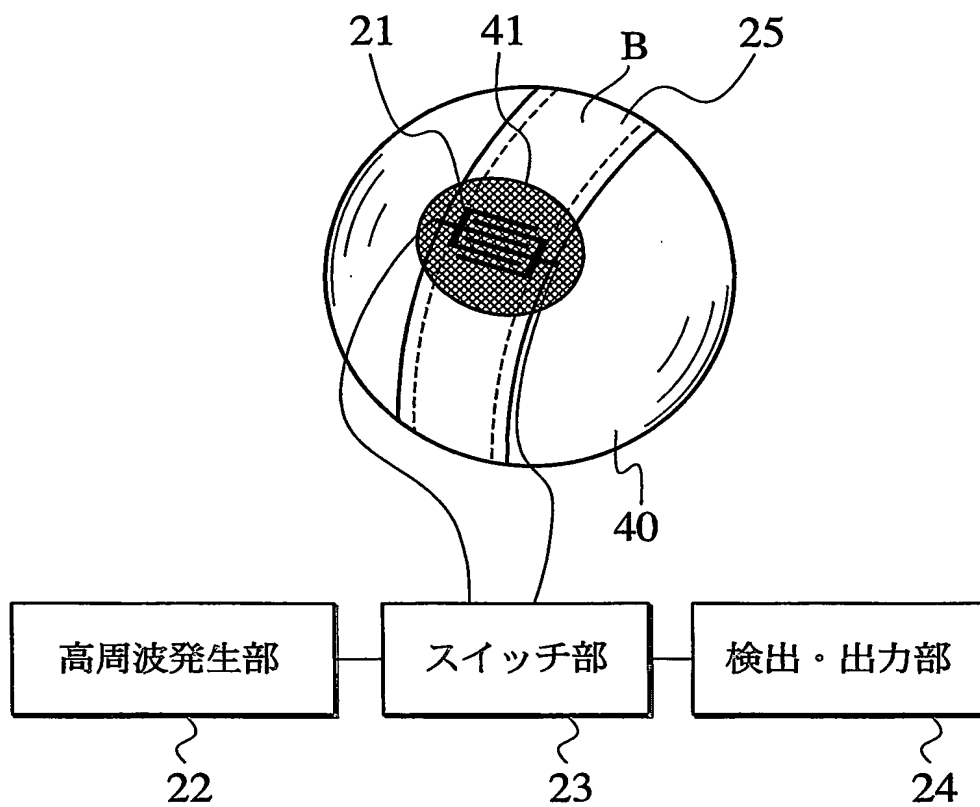


FIG. 8

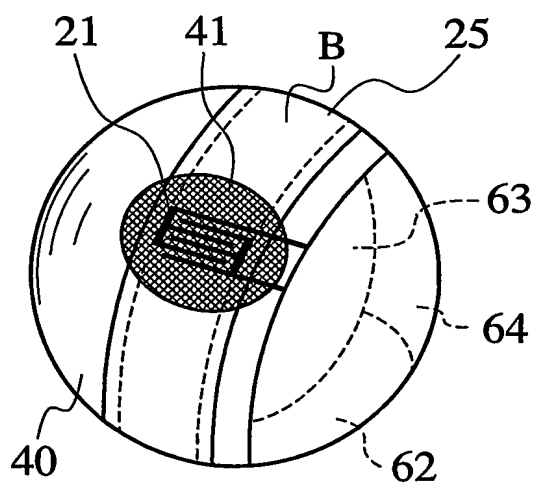


FIG. 9

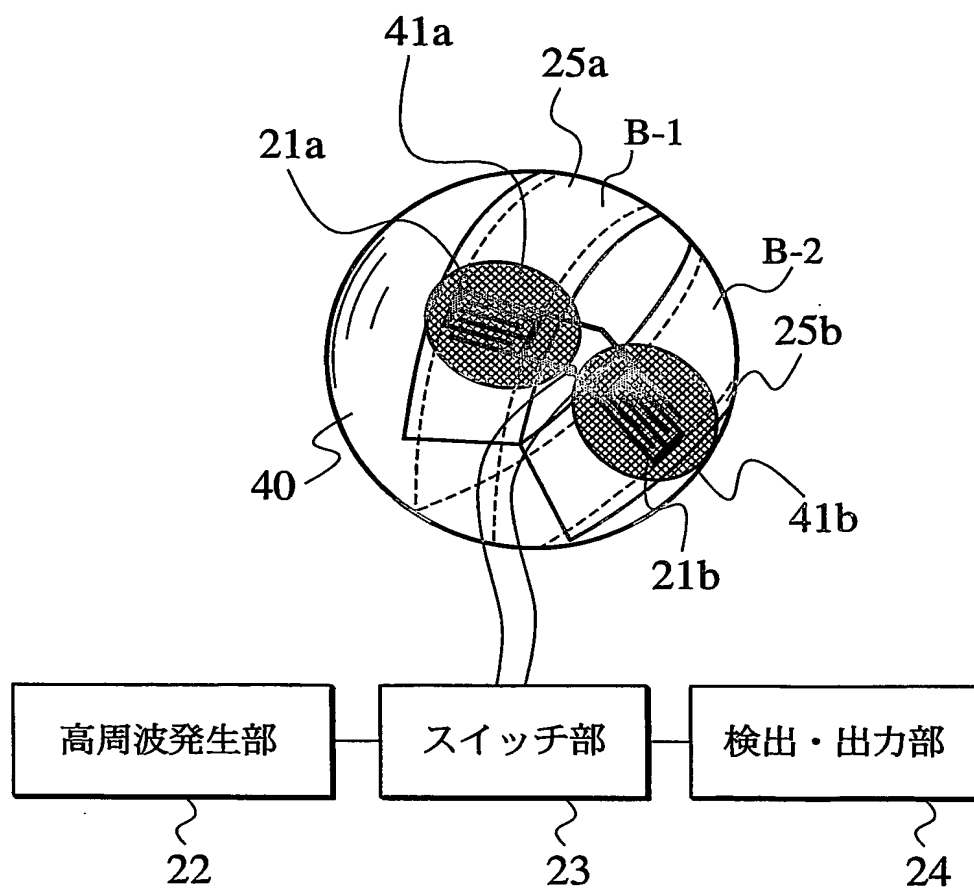


FIG. 10

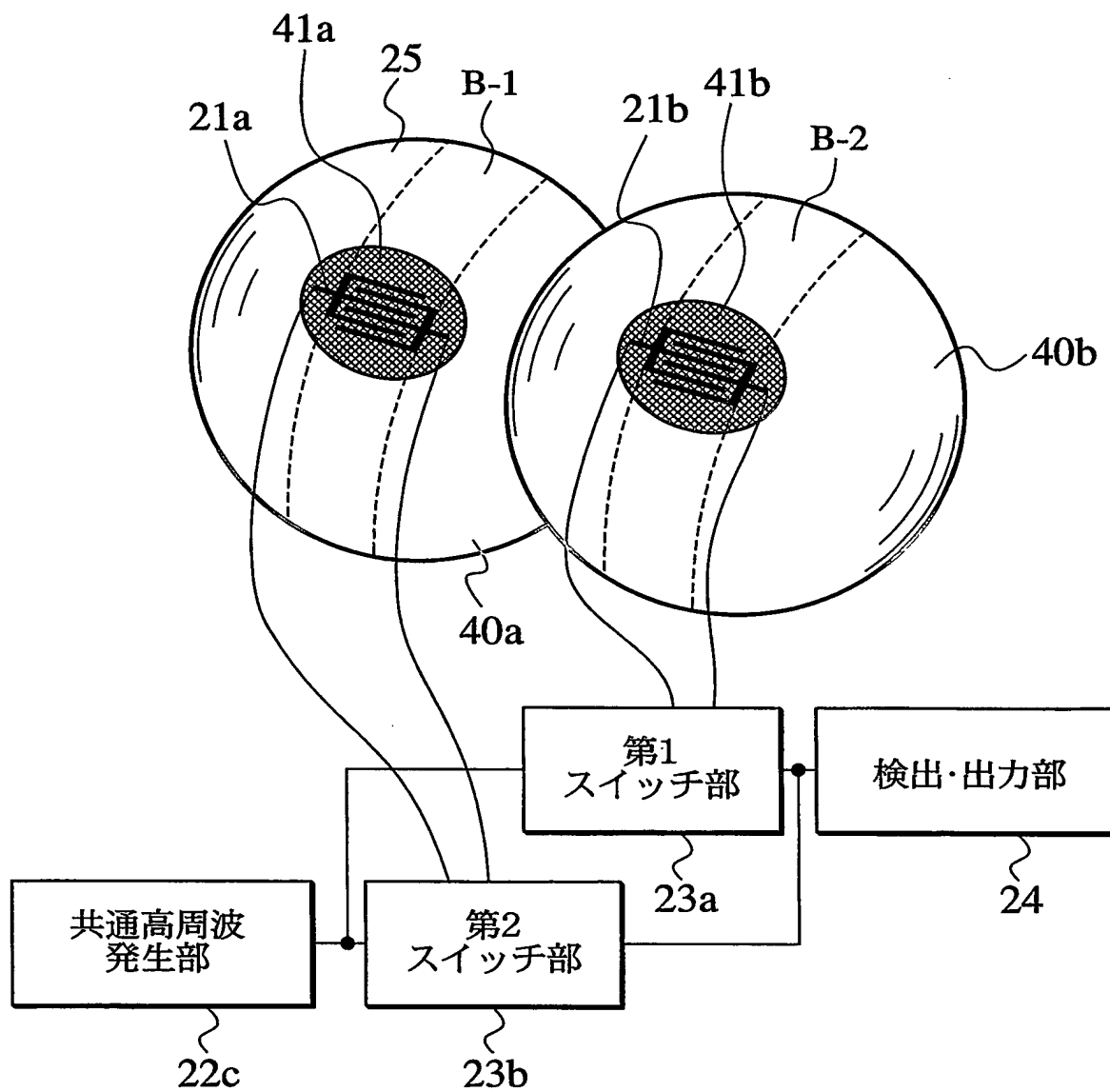


FIG. 11

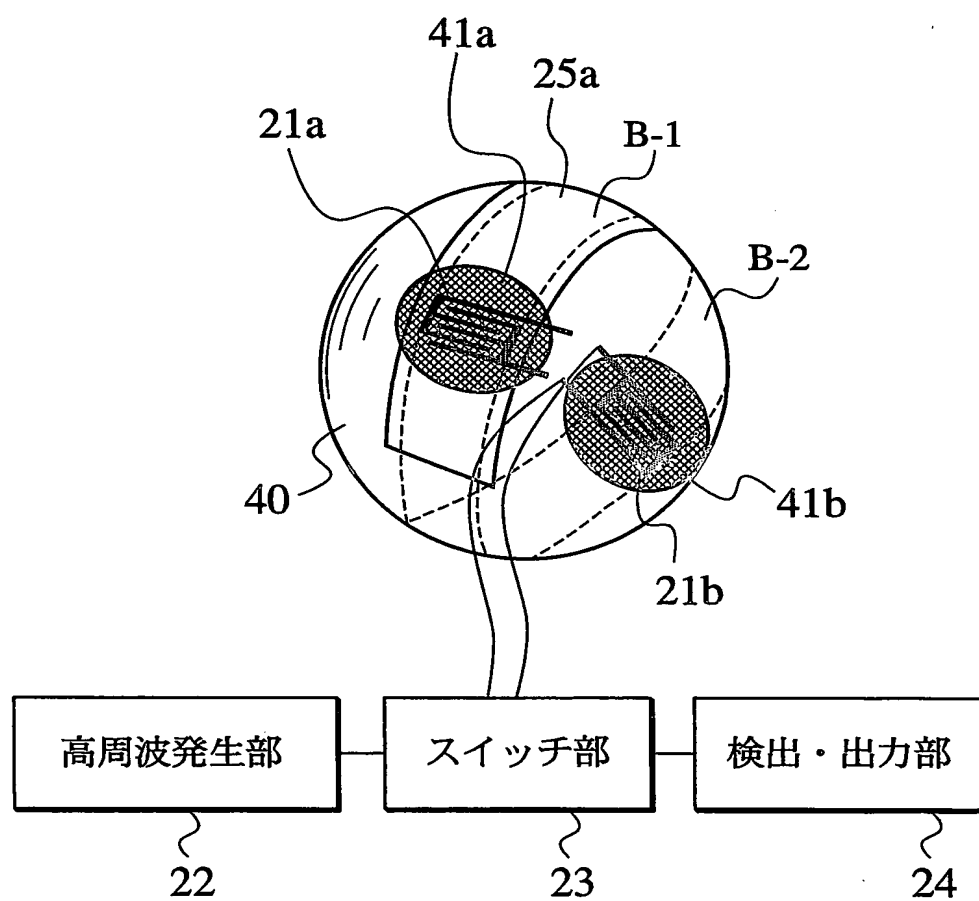


FIG. 12A

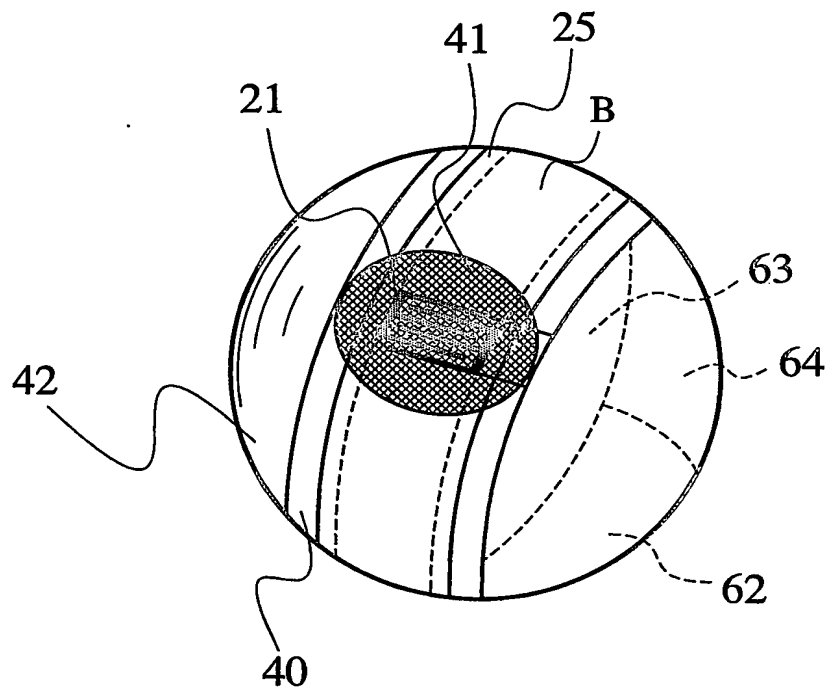


FIG. 12B

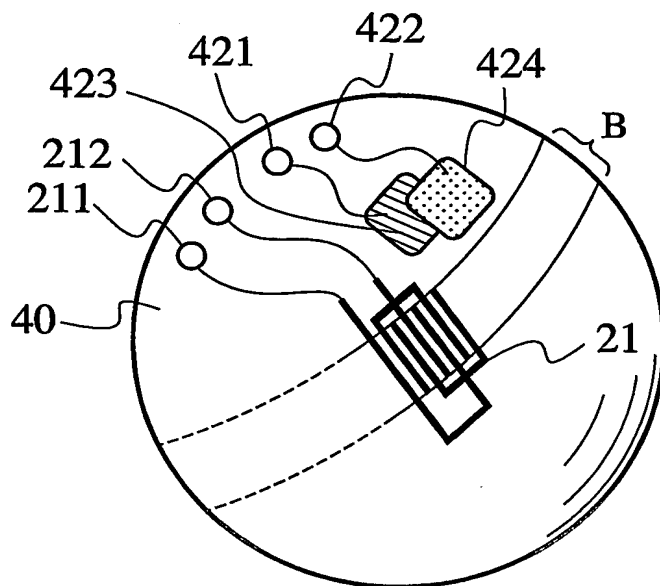


FIG. 12C

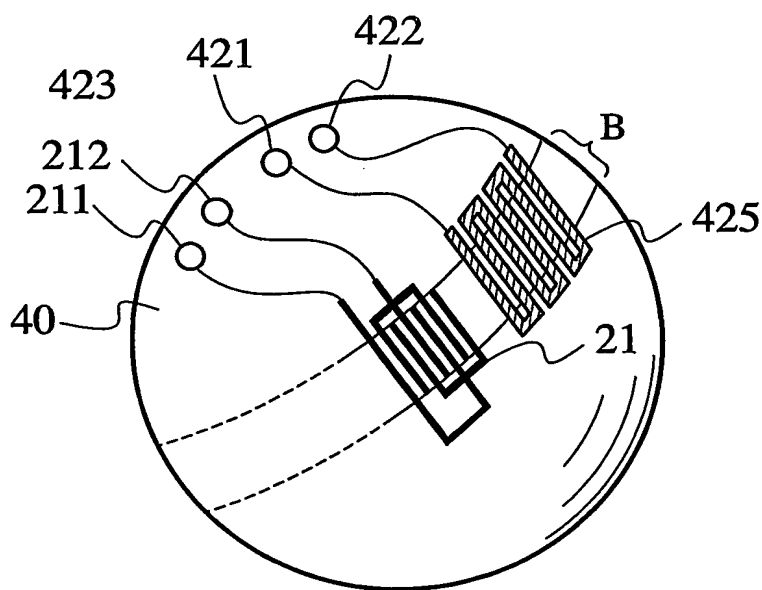


FIG. 13

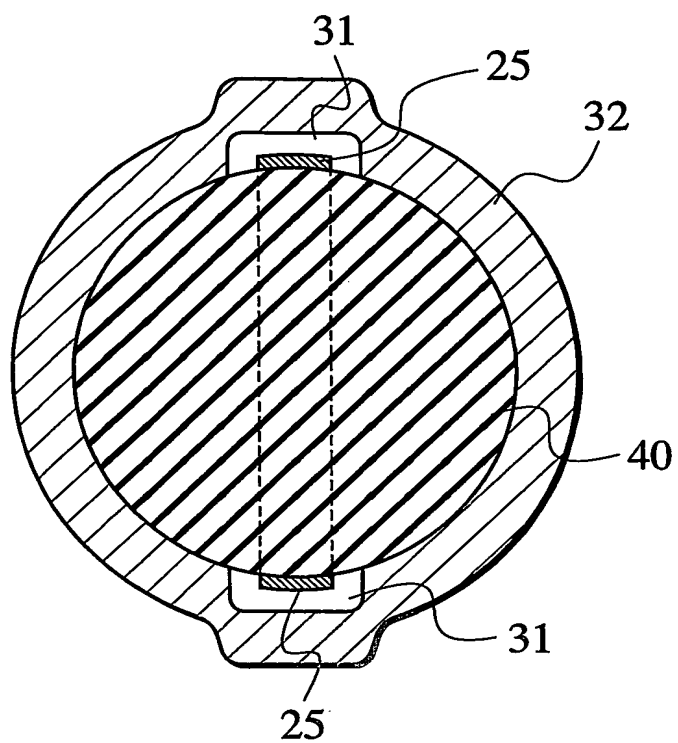


FIG. 14

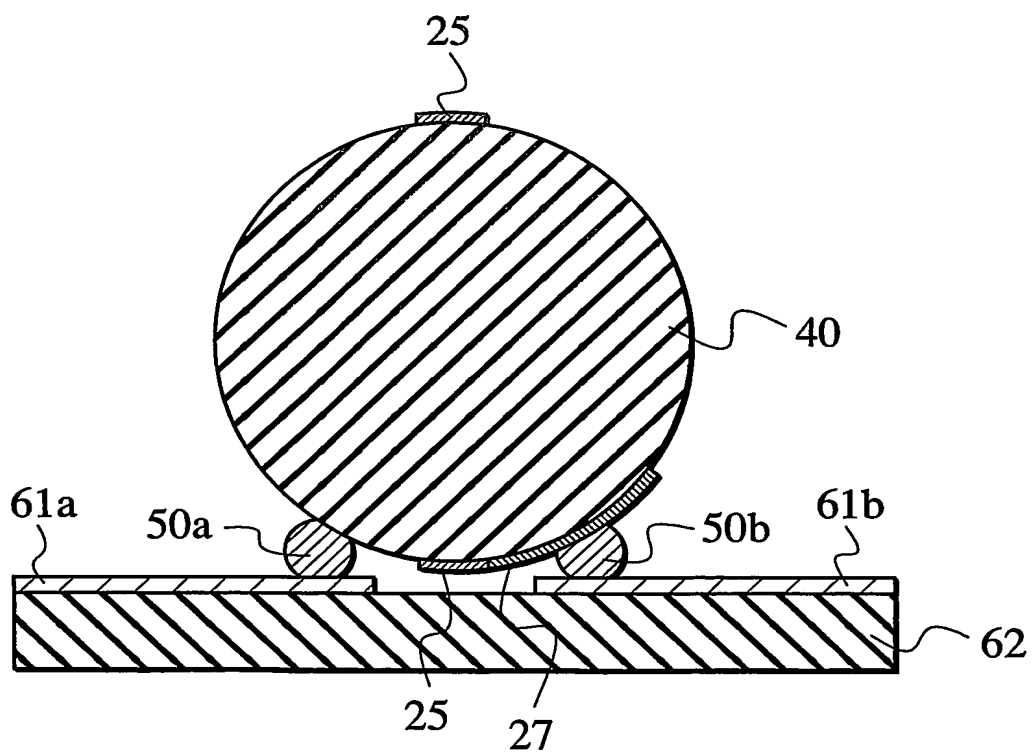


FIG. 15

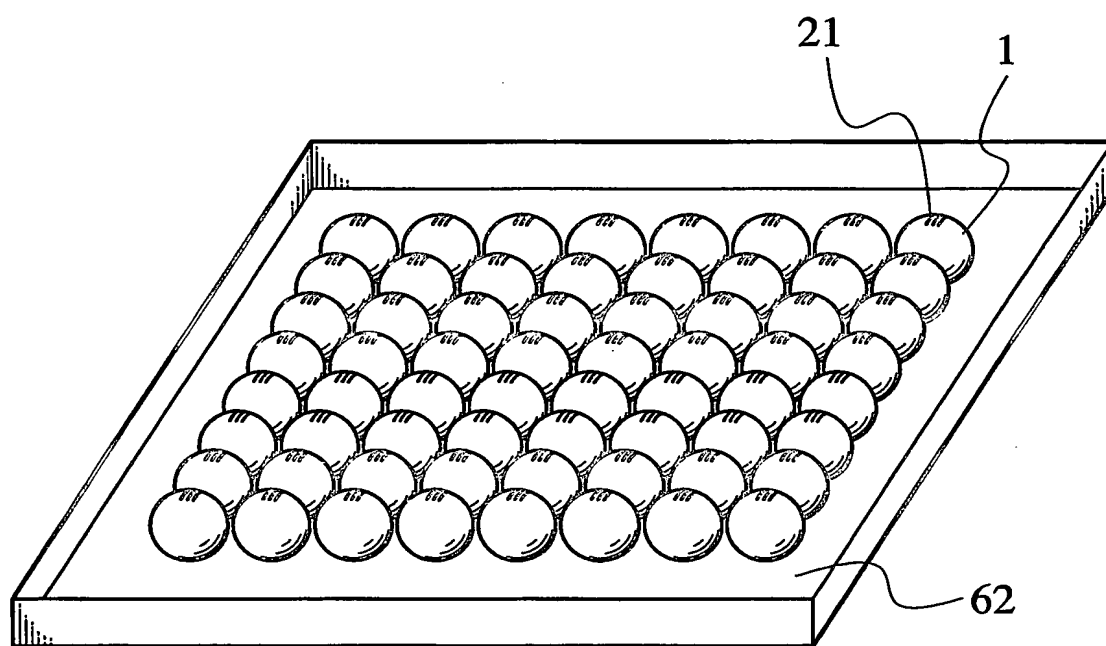


FIG. 16

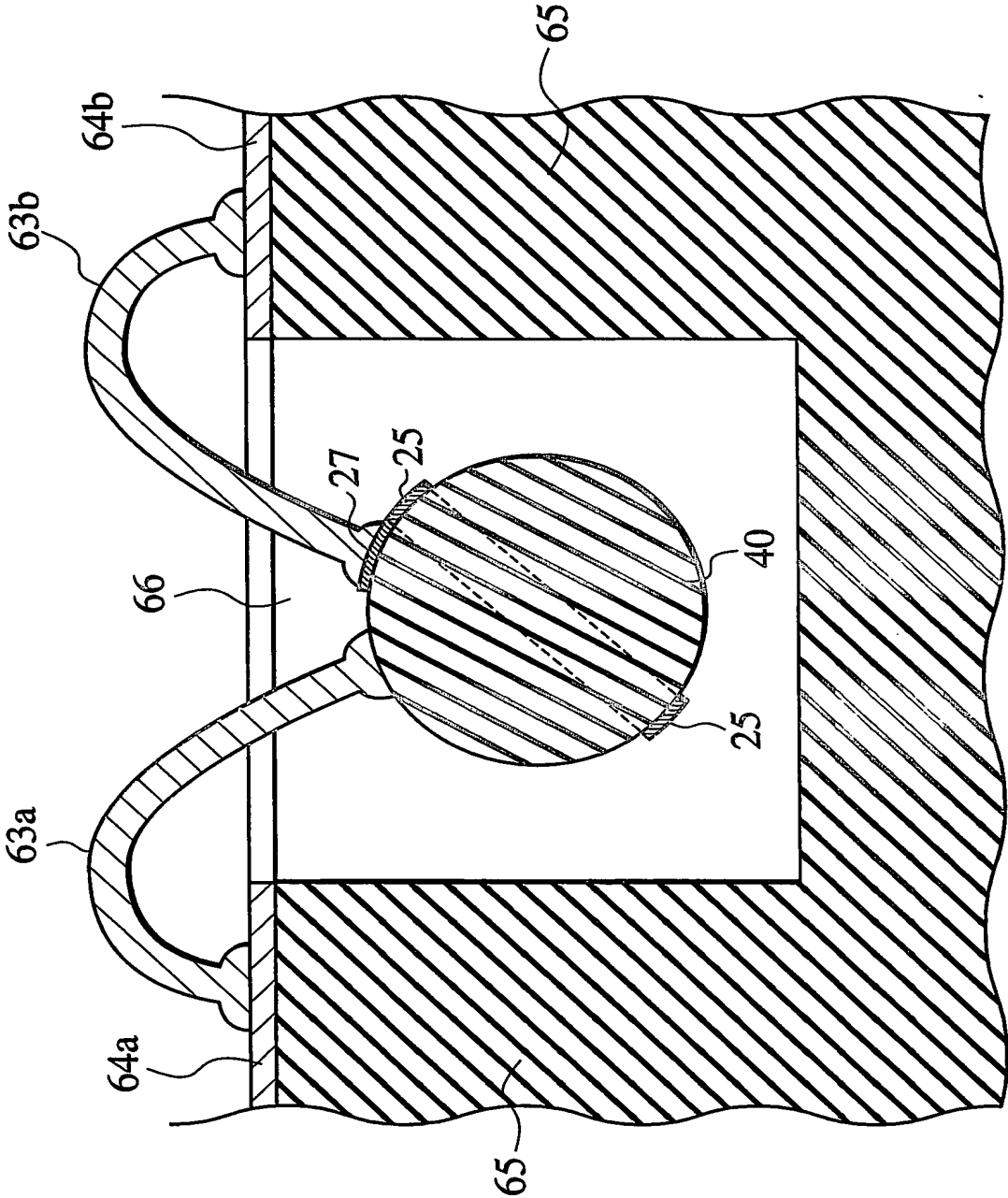


FIG. 17

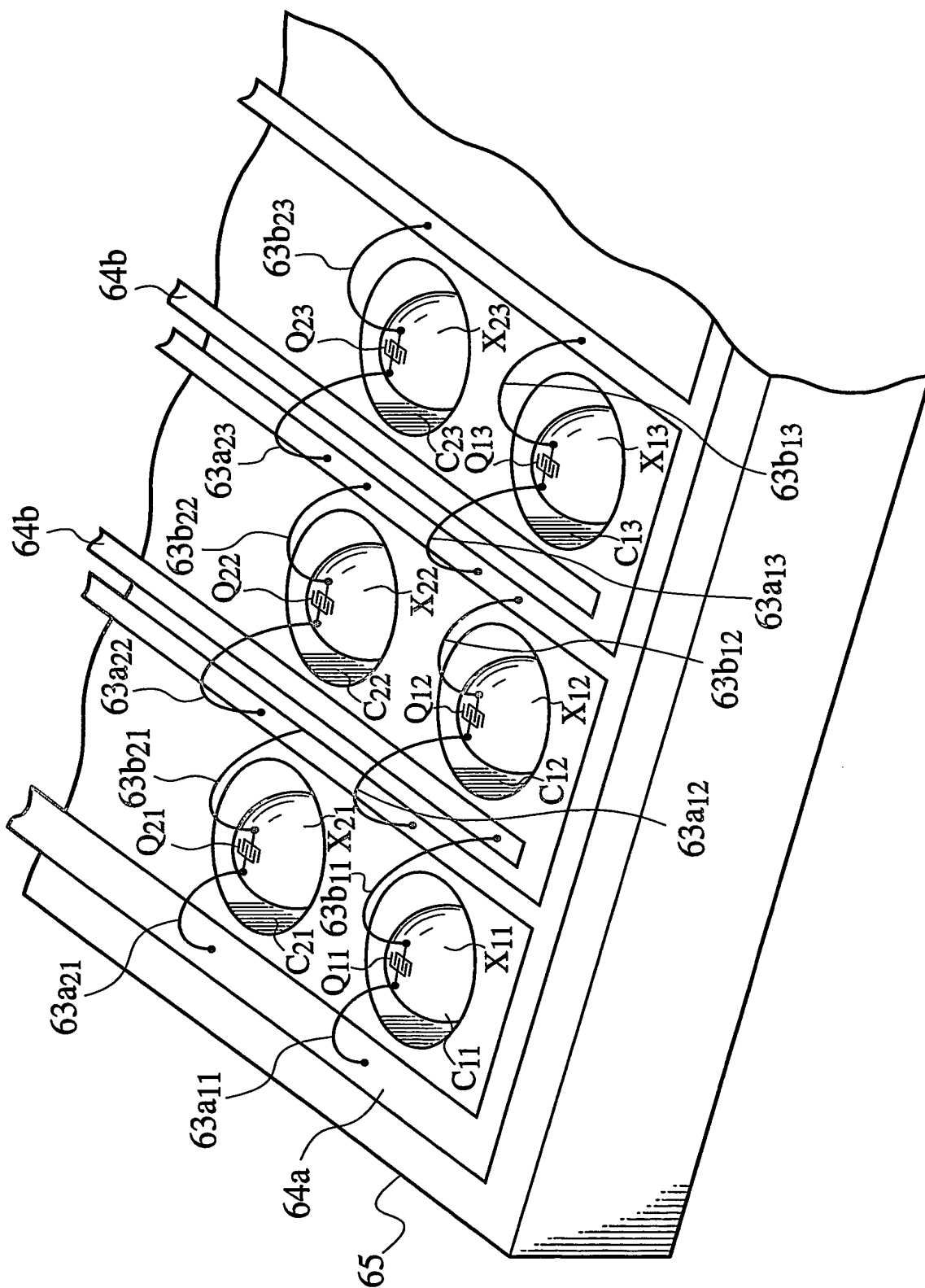
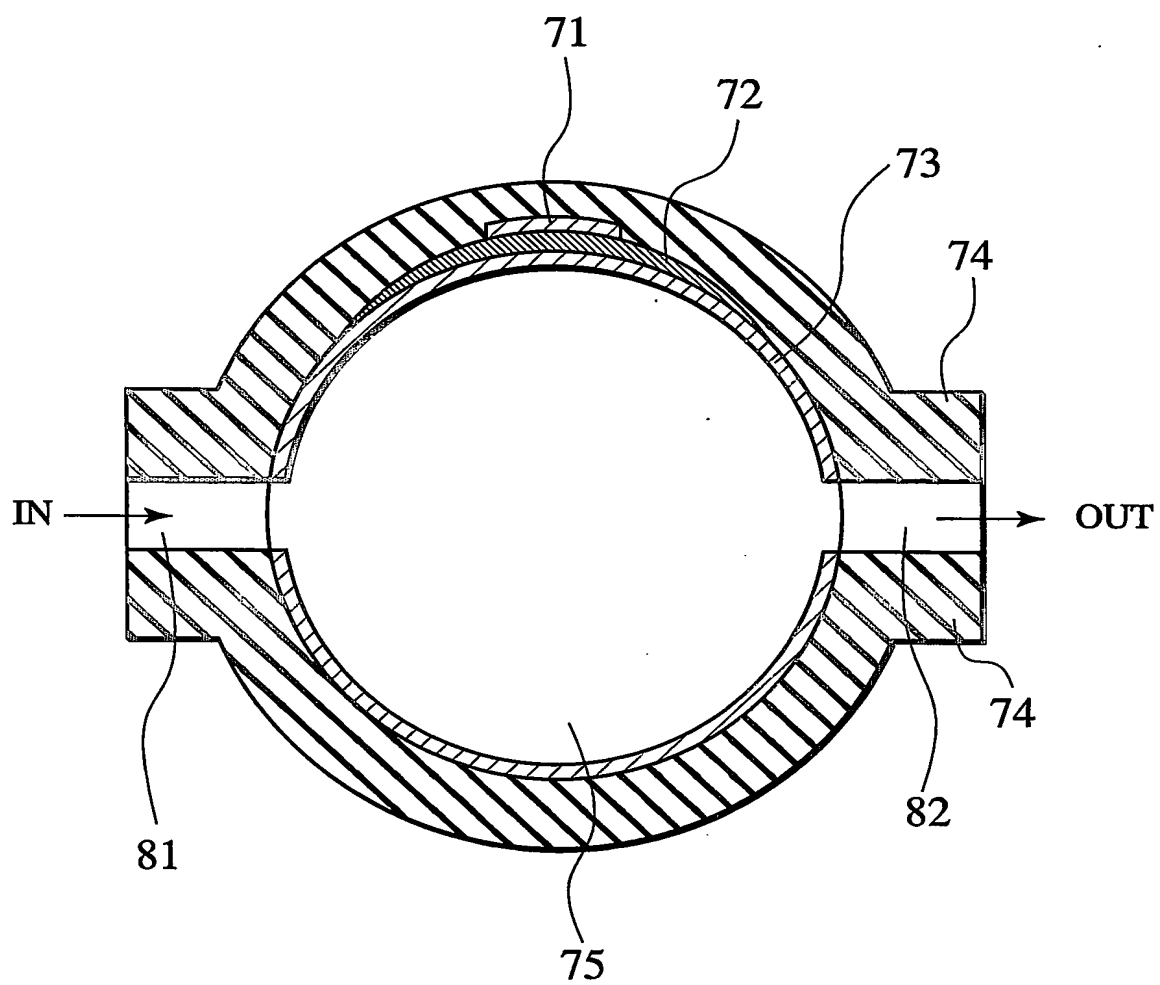


FIG. 18



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/004315

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G01N29/18

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G01N29/00-29/28

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST FILE (JOIS)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	JP 2003-294713 A (Toppan Printing Co., Ltd.), 15 October, 2003 (15.10.03), Full text; Figs. 1 to 5 (Family: none)	1, 2, 10, 14
P, X	JP 2003-294770 A (Toppan Printing Co., Ltd.), 15 October, 2003 (15.10.03), Full text; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-3, 10
A	JP 2001-272381 A (Toppan Printing Co., Ltd.), 05 October, 2001 (05.10.01), Full text; Fig. 1 (Family: none)	1-19

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
16 April, 2004 (16.04.04)

Date of mailing of the international search report  
11 May, 2004 (11.05.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01N29/18

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01N29/00-29/28

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICSTファイル (JOIS)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
PX	JP 2003-294713 A (凸版印刷株式会社) 2003.10.15 全文, 第1-5図 (ファミリーなし)	1, 2, 10, 14
PX	JP 2003-294770 A (凸版印刷株式会社) 2003.10.15 全文, 第1-4図 (ファミリーなし)	1-3, 10
A	JP 2001-272381 A (凸版印刷株式会社) 2001.10.05 全文, 第1図 (ファミリーなし)	1-19

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に関する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16.04.2004

国際調査報告の発送日

11.5.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

横井 亜矢子

2W

9706

電話番号 03-3581-1101 内線 3290